

# ウメの連作障害に関する研究 (第2報) ウメ連作土への活性炭の混和がウメ幼木の生育に及ぼす効果

大江孝明<sup>1</sup>・城村徳明<sup>1</sup>・西原英治<sup>2</sup>・水口裕介<sup>2</sup>・岡室美絵子<sup>1,3</sup>

<sup>1</sup>和歌山県果樹試験場うめ研究所

<sup>2</sup>鳥取大学農学部

## Studies on Replant Failure of Japanese Apricot Tree

### II. Effect of Activated Carbon Mixed in Continuous Cropping Soil on the Growth of Young Japanese Apricot Tree

Takaaki Oe<sup>1</sup>, Noriaki Jomura<sup>1</sup>, Eiji Nishihara<sup>2</sup>, Yusuke Mizuguchi<sup>2</sup> and Mieko Okamuro<sup>1,3</sup>

<sup>1</sup>Laboratory of Japanese Apricot, Fruit Tree Experiment Station, Wakayama Prefecture

<sup>2</sup>Faculty of Agriculture, Tottori University

## 緒 言

ウメの経済樹齢は25年程度とされており、産地を維持するためには老木園の若返りを推進する必要があるが、その際、改植した苗木が生育抑制される連作障害が問題となる。その要因として連作障害の発生しやすいモモでは、前作の根や土壌中に残っている青酸配糖体およびその分解物並びに縮合性タンニン様物質の関与が明らかにされている (Gur and Cohen, 1988; 平野, 1977; 水谷, 1979; Mizutani et al., 1988; Ohigashi, 1982)。そこで既報では、ウメ‘南高’の樹体にも青酸配糖体が含まれていることを確認するとともに、根域に他のウメ樹の根やその水抽出液が存在すると、夏季の葉中窒素含有率が低くなり、樹体生育が抑制されることを明らかにした (大江ら, 2003)。また、青酸配糖体の1種のアミグダリンやその分解物の安息香酸を根域に与えると、樹体成長が抑制されることを明らかにした (大江ら, 2003)。さらに実際のウメ連作土壌が生育阻害性を有することを明らかにするとともに、生育阻害要因としてフェノール性物質が関与することを示した (大江ら, 2018)。フェノール性物質が生育阻害に関与することは多くの植物で報告されており (Asao et al., 2004, 2007; 浅尾ら 1999b; Fukuhara et al., 2004; Kato-Noguchi, 2003; 田中, 2002; 土屋, 1990)、活性炭の添加により軽減することが水耕栽培の野菜類で報告されている (浅尾ら, 1998, 1999a, 2003a, 2003b)。また、アスパラガスでは実際の栽培ほ場において活性炭の土壌への処理が生育阻害の軽減に有効であることが確認されており (Motoki et al., 2004)、実用技術として普及している (西原・元木, 2009)。

そこで本試験では、ウメの連作障害対策技術を開発する一環として、ウメでの活性炭によるアレロパシー活性低減効果を検討するとともに、ウメの生育阻害性低減に効果が高い活性炭を選抜し、連作土壌での効果を検討した。

<sup>3</sup>現在:和歌山県果樹試験場

## 材料および方法

### 1. 連作土へのヤシガラ活性炭の混和がウメ幼木の生育に及ぼす影響（試験1）

2002年11月に和歌山県暖地園芸センター内の樹勢が低下した樹の根域土壌（以下、連作土）および樹間のウメ根の分布していない土壌（以下、樹間土）を採取し、30Lポットに入れて1年生‘南高’（実生台）を2003年1月21日に定植した。それぞれの土壌について、アスパラガスの連作障害対策で使用されている活性炭フロアブル（OAT アグリオ（株）製）の50倍希釈液をポットあたり5L土壌灌注する連作土活性炭区および樹間土活性炭区、活性炭無処理の連作土無処理区および樹間土無処理区の4区を設置した。各区3反復とし、アクリルハウス内で育成した。かん水は2日ごとに1Lとし、施肥は緩効性肥料（N:P:K=14:11:13）180日タイプを定植時と6月20日に250gずつ施用した。4~5月に新梢伸長停止率（10cm以上の新梢を対象）を、1~10月に幹径を調査した。また、10月27日に樹体を掘り上げて、葉を除いた新梢、主幹、根幹、細根（直径2mm以下）および太根（直径2mm以上）の各器官に分け、総新総長を測定するとともに、80℃で3日以上乾燥させて乾物重を測定した。さらに、両土壌を風乾後1mmの篩にかけ、50gを100mlの蒸留水または80%メタノール水溶液とともに振とう瓶に入れ振とうし、それらをろ紙（アドバンテック No.2）でろ過した。ろ過後、メタノールはエバポレーターにより留去した。留去分を補い抽出比率を合わせるため、それぞれ125mlに定容して水抽出液およびメタノール抽出液とし、それらの抽出液を用いて生育阻害性を調査した。すなわち、藤井（1994, 2000）および服部ら（2004）のプラントボックス法を参考に、組織培養用プラントボックス（65×65×100mm, Magenta製）に抽出液または水100mlとオートクレーブをかけた8%（W/V）寒天150mLを入れ攪拌し、固定化させた後、検定植物としてレタス‘グレートレックス366’（タキイ）を発根部位（先端部位）を下にして36粒穿刺播種した。連作土の水抽出液を用いたものを連作水区、連作土のメタノール抽出液を用いたものを連作メタノール区、樹間土の水抽出液を用いたものを樹間水区、樹間土のメタノール抽出液を用いたものを樹間メタノール区とし、3日間20℃のインキュベーター内で生育させた後、発芽したレタスの胚軸長および根長を調査した。

### 2. 幼植物検定による連作障害軽減に有効な活性炭の選抜（試験2）

2005年10月6日に和歌山県うめ研究所内の29年生‘南高’植栽園において、連作土、樹勢が良好な樹の根域土壌（以下、栽培土）および樹間土の3種類の土壌を採取した。採取した土壌は風乾後、1mmの篩にかけ、12月9日~12日に既報（大江ら, 2018）と同様、元木ら（2006a）の方法により生育阻害活性を測定した。すなわち、6穴マルチディッシュ（ヌンク製）に供試土壌3gおよび活性炭0.3gを混和して入れ、オートクレーブをかけた0.75%（W/V）低温ゲル化寒天（ナカライ製）5mlで固定化した後、5mlの0.75%低温ゲル化寒天を重層し固定させた。その上に検定植物としてレタス‘グレートレックス366’を1穴当たり5粒播種した。活性炭は西原ら（2006）と同様に、原材料や賦活方法が異なるヤシガラ系4種類（Y-1, Y-2, Y-3 および Y-4）、木質系3種類（M-1, M-2 および M-3）、石炭系1種類（S-1）の合計8種類（味の素ファインテクノ（株）製）を用い、1区3反復とした。土壌無添加（寒天のみ）および土壌を添加し活性炭無添加の区（以下、無添加区）も設置し、3日間20℃のインキュベーター内で生育させた後、根長および胚軸長を調査し、土壌無添加に対する伸長阻害率を算出した。

### 3. 活性炭のポット植えウメ幼木に対する作用 (試験 3)

2006年2月28日に1年生‘南高’ (実生台) を30Lポットに定植する際、ウメ未栽培土壌 (以下新土) に対し活性炭を混和しない新土区、連作土に対し試験2で生育阻害活性軽減効果が認められた木質系活性炭M-1およびM-2を混和するM-1区およびM-2区、ヤシガラ系活性炭Y-2と同等品のY-5 (味の素ファインテクノ (株) 製) を混和するY-5区、新たに供試した木質系活性炭M-4 (味の素ファインテクノ (株) 製) を混和するM-4区、活性炭を混和しない無処理区を設置した。各区3反復とし、活性炭混和割合は1% (DW/V) とした。施肥は緩効性肥料 (N:P:K=14:11:13) 180日タイプを定植時に250gずつ施用した。うめ研究所内のアクリルハウス内で生育させ、4~5月に新梢伸長停止率 (10cm以上の新梢を対象)、2~9月に幹径を経時的に調査するとともに、9月6日に樹体を掘り上げて葉を除いた新梢、主幹、根幹および根の各器官に分けた。総新梢長を測定するとともに、80℃で3日以上乾燥させて器官別乾物重を測定した。

また、2008年1月に現地ウメ園 (みなべ町晩稲) から採取した連作土を2008年7月16日に25Lポットに充填し、‘南高’ 実生苗を1つのポットに7個体ずつ定植した。その際、活性炭を混和しない無処理区、2006年の試験で供試した活性炭のうちM-1およびY-5を混和するM-1区およびY-5区、新たに供試した木質系活性炭M-5 (味の素ファインテクノ (株) 製) を混和するM-5区を設置し、活性炭混和割合は1% (DW/V) とした。なお、2006年の試験ではM-1とM-4に効果がみられが、流通量等の実用性の点でM-1に絞った。うめ研究所内ガラス温室において生育させ、9月24日に樹体を掘り上げて主幹伸長指数 (解体時の主幹長/処理開始時の主幹長×100)、地上部および地下部の乾物重を測定した。

### 4. 活性炭混和の有無とウメ根水抽出液を与えた実生の生育 (試験 4)

2008年7月に所内で採取した新土を7月16日に25Lポットに充填し、‘南高’ 実生苗を1つのポットに7個体ずつ定植した。活性炭を混和しない無処理区、試験3で供試した3種の活性炭を用いるM-1区、M-5区およびY-5区を設置し、活性炭混和割合は1% (DW/V) とした。定植直後より、ウメ根水抽出液 (水:根=10:1で3日抽出したもの) とEC1.0の液肥 (N: 114ppm, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>: 52ppm, K<sub>2</sub>O: 158ppm, MgO: 100ppm, CaO: 32ppm, MnO: 0.86ppm, Fe: 1.80ppm, B<sub>2</sub>O<sub>3</sub>: 0.86ppm) を1:1で混和して底面より吸与し、うめ研究所内ガラス温室において生育させた。9月24日に樹体を掘り上げて、主幹伸長指数、地上部および地下部の乾物重を測定した。また、2009年1月28日、1月31日および3月3日の計3回、試験1と同様の方法でウメ根水抽出液を作成し、各活性炭もしくはポリビニルポリピロリドン (PVPP) を5% (DW/V) 添加後、約3時間放置した。ろ紙および0.45μmのメンブレンフィルターでろ過した液、および活性炭を処理せざる過のみした液のフェノール性化合物量を既報 (大江ら, 2018) と同様にFolin-Ciocalteu法で測定し、クロロゲン酸相当量で表した。

### 5. 連作土への活性炭の混和がポット植えウメ幼木の生育に及ぼす影響 (試験 5)

2008年12月16日にうめ研究所内植栽の樹勢が低下した32年生‘南高’ 株元より採取した連作土および栽培園地周辺で採取した新土を25Lポットに充填し、1年生‘南高’ (実生台) を定植した。その際、それぞれの土壌について、木質系活性炭M-5を0.5%、1%および3% (DW/V) 混和する0.5%区、1%区および3%区並びに無処理区を各区5反復で設置した。定植時の平均幹径が各区とも同じになるように仕分けをしたうえで野外で育成し、定植時に緩行性肥料 (N:P:K=14:11:13) 180日タイプを表層に250g施用した。2009年5~6月に新梢伸長停止率を、5月および9月に幹径を調査

するとともに、9月24日に樹体を掘り上げて土を落とし、葉を除いた新梢、主幹、根幹および根の各器官に分けた。総新梢長を測定するとともに、80℃で3日以上乾燥させて器官別乾物重を測定した。なお、9月の幹径は乾燥後に測定した。

## 6. 連作ほ場での根域への活性炭の混和がウメ幼木の生育に及ぼす影響（試験6）

2007年12月にうめ研究所内の9年生‘南高’3樹を主幹の約40cmを残して伐採し、株は根を残して約1年間放置した。2008年12月に伐採株を掘りあげ抜根し、その跡地を重機で混和し均質化した。試験5と同様M-5を用い植穴容量を30Lとして0.5%、1%および3%を混和する0.5%区、1%区、3%区並びに無処理区を設置し、12月16日に1年生‘南高’（実生台）を各区6反復で定植した。なお、定植時の平均幹径が各区とも同じになるように仕分けをしたうえで育成し、定植時に緩行性肥料（N:P:K=14:11:13）180日タイプを表層に200g施用した。2009年5～6月に新梢伸長停止率を、5月および11月に幹径を調査するとともに、11月18日に樹体を掘り上げて葉を除いた新梢、主幹、根幹および根の各器官に分けた。総新梢長を測定するとともに、80℃で3日以上乾燥させて器官別乾物重を測定した。

## 結 果

### 1. 連作土へのヤシガラ活性炭の添加がウメ幼木の生育に及ぼす影響（試験1）

活性炭フロアブルの処理効果を調査したところ、新梢伸長停止率は活性炭添加の有無に関わらず連作土に定植した区が高く推移した

（表1）。総新梢長は活性炭添加の有無に関わらず連作土に定植した区で有意に短かった。

幹径肥大指数は各区間に差がなかった（表2）。

乾物重は新梢が活性炭施用の有無

に関わらず連作土に定植した区で小

さく、地上部、地下部および全体で

は差がなかった（表3）。検定植物と

して用いたレタスの胚軸長は連作メ

タノール区が連作水区、樹間水区お

よび対照区に比べて短かった（表4）。

根長は連作メ

タノール区が他

区に比べて短

かった。

表1 ウメ園土壌への活性炭の添加と新梢伸長（2003年）

	新梢伸長停止率 (%) <sup>z</sup>				総新梢長 (cm)
	4/24	4/30	5/6	5/12	
樹間土無処理区	35	47	79	100	483 a <sup>y</sup>
樹間土活性炭区	17	23	59	100	521 a
連作土無処理区	80	100	100	100	309 b
連作土活性炭区	75	100	100	100	318 b

<sup>z</sup>停止率の調査対象は10cm以上の新梢

<sup>y</sup>Tukeyの多重検定により異符号間には5%水準で有意差あり (n=3)

表2 ウメ園土壌への活性炭の添加と幹径肥大指数（2003年）<sup>z</sup>

	1/21	4/24	6/2	7/2	8/4	10/3
樹間土無処理区	100	100	100	100	102	105
樹間土活性炭区	100	100	99	100	102	104
連作土無処理区	100	99	100	101	104	104
連作土活性炭区	100	100	99	99	103	103
有意性 <sup>y</sup>	ns	ns	ns	ns	ns	ns

<sup>z</sup>処理開始時点の幹径を100とした指数

<sup>y</sup>Tukeyの多重検定により、nsは有意差なし (n=3)

表3 ウメ園土壌への活性炭の添加の有無と器官別乾物重（2003年）

	器官別乾物重 (g)							
	新梢	主幹	根幹	細根 <sup>z</sup>	太根 <sup>z</sup>	地上部	地下部	全体
樹間土無処理区	19.6 a	33.6	25.3	14.2	16.1	53.2	55.6	108.8 ± 11.1 <sup>y</sup>
樹間土活性炭区	20.8 a	33.9	26.5	13.8	15.3	54.7	55.5	110.2 ± 3.4
連作土無処理区	11.4 b	33.8	26.9	13.5	16.3	45.2	56.7	101.9 ± 5.1
連作土活性炭区	11.4 b	33.5	24.0	14.8	16.7	44.9	55.5	100.4 ± 11.7
有意性 <sup>x</sup>	*	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns

<sup>z</sup>細根は直径0.2cm以下、太根は0.2cm以上

<sup>y</sup>全体は平均値±標準誤差 (n=3)

<sup>x</sup>Tukeyの多重検定により、\*は5%水準で異符号間に有意差あり、nsは有意差なし

表4 ウメ園土壤の水およびメタノール抽出液の有無と検定植物レタスの生育

	胚軸長 (cm)	根長 (cm)
連作水区	3.3 a <sup>z</sup>	6.0 b
連作メタノール区	2.2 b	4.3 c
樹間水区	3.2 a	6.9 a
樹間メタノール区	2.7 ab	5.5 b
対照区	2.8 a	6.1 b

<sup>z</sup>Tukey-Kramerの多重比較により異なる記号間に1%水準で有意差あり(n=61-71)

## 2. 幼植物検定による連作障害軽減に有効な活性炭の選抜 (試験 2)

レタスを検定植物に用いて連作障害軽減作用を調査したところ、レタスの全長(根長と胚軸長の合計)の伸長率は各土壌とも無添加区で最も低く、樹間土が81%、栽培土が58%、連作土が15%であり、根長、胚軸長ともに樹間土、栽培土、連作土の順に低かった(表5)。樹間土では活性炭Y-2、Y-3およびM-1の添加により伸長率が土壌無添加とほぼ同等(95%以上)となった。栽培土は主に根長伸長を抑制し、全長では活性炭Y-2、M-1、M-2、M-3およびS-1の添加により伸長率が土壌無添加の80%以上となった。連作土は根長、胚軸長の両方の伸長を抑制し、活性炭Y-2、M-1およびM-2の添加により伸長率が土壌無添加の60%以上となった。

表5 土壌の種類、活性炭の種類とレタスの伸長率(%)<sup>z</sup>

	樹間土			栽培土			連作土		
	根長	胚軸長	全長	根長	胚軸長	全長	根長	胚軸長	全長
無添加	73	101	81	47	89	58	12	21	15
Y-1	76	135	92	55	83	63	53	67	57
Y-2	95	111	99	93	133	104	58	71	61
Y-3	93	136	105	60	81	65	55	69	59
Y-4	76	110	85	71	95	77	12	50	22
M-1	87	119	95	77	90	80	60	79	65
M-2	80	131	94	80	136	95	63	72	65
M-3	80	131	94	91	118	98	55	64	57
S-1	84	108	91	78	107	86	45	72	52

<sup>z</sup>土壌無添加(寒天のみ)に対する比率

## 3. 幼植物検定で有効な活性炭のポット植えウメ幼木に対する作用 (試験 3)

幼植物検定で選抜した活性炭のウメでの施用効果を調査したところ、2006年の試験において、新梢伸長停止率はM-1区およびY-5区が無処理区に比べて低く推移した(表6)。

表6 異なる種類の活性炭の連作土への混和と新梢伸長(2006年)

	新梢伸長停止率(%) <sup>z</sup>						総新梢長 (cm)
	4/11	4/18	4/25	5/2	5/9	5/16	
新土	7	24	31	87	100	100	475 a <sup>y</sup>
M-1	6	16	32	71	87	95	459 a
M-2	0	43	77	100	100	100	248 b
M-4	6	30	80	96	100	100	316 b
Y-5	0	4	20	53	93	100	424 a
無処理	0	21	64	89	100	100	318 b

<sup>z</sup>停止率の調査対象は10cm以上の新梢

<sup>y</sup>Tukeyの多重検定により、総新梢長の異符号間に\*は5%水準で有意差あり(n=3)

総新梢長は新土区、M-1区およびY-5区が無処理区に比べて長かった。幹径肥大指数は各区間に差がなかった（表7）。

表7 異なる種類の活性炭の連作土への混和と幹径肥大指数（2006年）<sup>z</sup>

	2/28	4/10	5/10	6/12	7/12	8/14	9/6
新土	100	100	101	101	104	106	106
M-1	100	101	103	104	105	106	107
M-2	100	100	100	102	103	104	104
M-4	100	99	101	103	105	106	107
Y-5	100	101	103	104	106	108	109
無処理	100	100	102	102	103	104	105
有意性 <sup>y</sup>	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns

<sup>z</sup>処理開始時点の幹径を100とした指数

<sup>y</sup>Tukeyの多重検定によりnsは有意差なし（n=3）

乾物重について、新梢はY-5区が、根はM-4区が無処理区に比べて重かった（表8）。全体ではM-4区およびY-5区が無処理区に比べて大きい傾向であった。

表8 異なる種類の活性炭の連作土への混和と器官別乾物重（2006年）

	器官別乾物重 (g)						
	新梢	主幹	根幹	根	地上部	地下部	全体
新土	11.2 ab	22.2	29.5	19.7 c	33.5	49.2	82.7 ± 7.9 <sup>y</sup>
M-1	12.9 ab	23.2	24.7	26.0 abc	36.2	50.7	86.9 ± 4
M-2	6.3 c	23.8	34.4	23.6 bc	30.1	58.0	88.1 ± 13
M-4	9.8 abc	24.1	33.0	32.5 a	33.8	65.6	99.4 ± 4
Y-5	13.3 a	26.6	36.5	30.6 ab	39.9	67.1	107.0 ± 4
無処理	8.3 bc	23.8	32.2	23.5 bc	32.1	55.8	87.9 ± 7
有意性 <sup>z</sup>	*	ns	ns	*	ns	ns	ns

<sup>z</sup>Tukeyの多重検定により、\*は5%水準で異符号間に有意差あり、nsは有意差なし（n=3）

<sup>y</sup>平均値±標準誤差

2008年の試験において、主幹伸長指数は無処理区に比べてM-1区が大きい傾向であり、Y-5区が小さい傾向であった（表9）。乾物重はY-5区が無処理区に比べて地下部で小さく、全体で小さい傾向であった。

表9 異なる種類の活性炭の連作土への混和と主幹伸長および樹体生育（2008年）

	主幹伸長指数 <sup>z</sup>	樹体乾物重 (g)		
		地上部	地下部	全体
無処理	116 ± 3 <sup>y</sup> ab <sup>x</sup>	1.9 a	4.0 a	5.9 ± 1.3 a
M-1	132 ± 9 a	1.9 a	3.1 ab	5.0 ± 1.1 a
M-5	120 ± 7 ab	1.7 a	2.9 ab	4.5 ± 1.0 a
Y-5	100 ± 0 b	0.6 a	1.5 b	2.1 ± 0.3 a

<sup>z</sup>定植時を100とした指数

<sup>y</sup>平均値±標準誤差（n=7）

<sup>x</sup>Tukeyの多重検定により、異符号間に5%水準で有意差あり

#### 4. 活性炭混和の有無とウメ根水抽出液を与えた実生の生育（試験4）

ウメ連作土を用いて選抜を進めた活性炭のウメ根抽出液に対する作用を調査したところ、主幹伸長指数はM-1およびM-5区が無処理区に比べて大きい傾向であり、Y-5区は無処理区に比べて小さい

傾向であった (表 10). 乾物重について, M-5 区は地上部および全体で Y-5 区に比べて大きかった. フェノール性物質残存量は, M-1 および M-5 区が Y-5 および無処理区に比べて少なく, PVPP 区と同等であった (表 11).

表10 異なる種類の活性炭の新土への混和とウメ根水抽出液を与えた樹の生育

	主幹伸長指数 <sup>z</sup>	樹体乾物重 (g)		
		地上部	地下部	全体
無処理	120 ± 10 <sup>y</sup> ab <sup>x</sup>	1.2 ab	2.5 a	3.8 ± 0.5 ab
M-1	144 ± 14 a	1.4 ab	3.1 a	4.4 ± 0.6 ab
M-5	150 ± 9 a	1.8 a	3.1 a	4.9 ± 0.7 a
Y-5	104 ± 2 b	0.7 b	2.0 a	2.7 ± 0.3 b

<sup>z</sup>定植時を100とした指数

<sup>y</sup>平均値±標準誤差 (n=7)

<sup>x</sup>Tukeyの多重検定により, 異符号間に5%水準で有意差あり

表11 ウメ根水抽出液への活性炭, PVPP添加後のフェノール性物質残存量

	フェノール性物質 (mg/L)
無処理	1234 ± 96 <sup>z</sup> a <sup>y</sup>
M-1	16 ± 12 b
M-5	15 ± 12 b
Y-5	1045 ± 170 a
PVPP	79 ± 1 b

<sup>z</sup>平均値±標準誤差 (n=3)

<sup>y</sup>Tukeyの多重検定により, 異符号間に1%水準で有意差あり

## 5. 連作土への活性炭の混和がポット植えウメ幼木の生育に及ぼす影響 (試験 5)

活性炭は木質系 M-1 が試験 2~4 で安定的に生育阻害軽減効果が認められたが, 試験 4 で活性炭 M-5 は M-1 と同質でフェノール性物質の吸着能や生育改善効果が同様であったこと, 流通量や価格の点で実用化しやすいことから M-5 を使用して混和割合との関係をポット植栽樹で調査した. 新梢伸長停止率は, 無処理区に比べて新土では 3%区が, 連作土では 1%および 3%区がやや低く推移した (表 12). 新梢長は新土では 1次伸長, 2次伸長および総長のすべてにおいて, 3%区が他区に比べて長かった. 連作土では 1次伸長および総長において 3%区, 1%区の順に無処理区に比べて長かった. 試験終了時点の幹径は新土, 連作土ともに, 無処理区に比べて活性炭混和区が大きく, 活性炭混和区の中では 3%区が最も大きかった (表 13). 解体時の乾物重について, 3%区は無処理区に比べて新土では新梢, 主幹, 細根, 地上部および全体において大きく, 連作土では新梢, 主幹, 細根, 太根, 地上部, 地下部および全体において大きかった (表 14). 1%区は無処理区に比べて新土では新梢, 細根および地上部において大きく, 連作土では新梢, 主幹, 太根, 地上部, 地下部および全体において大きかった. 0.5%区は無処理区に比べて新土では差がなく, 連作土では新梢, 主幹, 地上部および全体において大きかった. 全体でみると, 新土では 3%区が他区に比べ, 連作土では 3%区および 1%区が他区に比べて大きかった.

表12 新土, 連作土への活性炭の混和割合とポット植栽樹の新梢伸長 (2008年)

		新梢伸長停止率 (%) <sup>z</sup>						新梢長 (cm)		
		5/15	5/21	5/27	6/2	6/8	6/14	1次伸長	2次伸長	総長
新土	0.5%区	87	91	96	96	99	100	701 b <sup>y</sup>	10 b	711 ± 19 b
	1%区	80	81	95	95	99	99	674 b	47 b	721 ± 46 b
	3%区	52	72	99	100	100	100	893 a	292 a	1185 ± 55 a
	無処理区	74	77	98	98	98	99	658 b	6 b	664 ± 46 b
連作土	0.5%区	75	81	91	94	97	100	621 c	204 a	825 ± 42 bc
	1%区	51	63	91	96	96	99	781 b	123 a	904 ± 29 b
	3%区	58	65	99	99	99	100	939 a	185 a	1123 ± 61 a
	無処理区	65	67	92	95	97	97	588 c	94 a	682 ± 37 c

<sup>z</sup>調査対象は10cm以上の新梢

<sup>y</sup>新土, 連作土それぞれについて, Tukeyの多重検定により異符号間に5%水準で有意差あり (n=5)

表13 新土、連作土への活性炭の混和割合とポット植栽樹の幹径

		幹径 (mm)		
		2008年		2009年
		12/17	5/15	9/24 <sup>z</sup>
新土	0.5%区	13.6	13.8	18.0 ± 0.1 <sup>y</sup> b <sup>x</sup>
	1%区	13.6	14.0	18.1 ± 0.3 b
	3%区	13.6	13.9	19.7 ± 0.2 a
	無処理区	13.6	13.7	16.4 ± 0.2 c
連作土	0.5%区	13.6	13.7	17.9 ± 0.1 b
	1%区	13.6	13.7	18.3 ± 0.1 b
	3%区	13.6	13.9	19.8 ± 0.2 a
	無処理区	13.6	13.5	16.1 ± 0.3 c

<sup>z</sup>乾燥後に測定<sup>y</sup>平均値±標準誤差 (n=5)<sup>x</sup>新土、連作土それぞれについて、Tukeyの多重検定により異符号間に1%水準で有意差あり

表14 新土、連作土への活性炭の混和割合とポット植栽樹の器官別乾物重 (2008年)

		器官別乾物重 (g)					地上部	地下部	全体
		新梢	主幹	根幹	細根 <sup>z</sup>	太根 <sup>z</sup>			
新土	0.5%区	68.2 bc <sup>y</sup>	82.9 ab	94.3 a	30.6 ab	38.6 a	151.1 bc	163.4 a	314.5 ± 13.7 <sup>x</sup> b
	1%区	77.7 b	82.7 ab	82.4 a	33.6 a	44.2 a	160.4 b	160.2 a	320.6 ± 11.0 b
	3%区	120.4 a	87.1 a	86.6 a	36.9 a	44.8 a	207.5 a	168.4 a	375.9 ± 17.0 a
	無処理区	52.5 c	73.5 b	95.7 a	22.3 b	36.3 a	126.0 c	154.3 a	280.3 ± 11.1 b
連作土	0.5%区	78.5 c	77.2 a	72.9 a	33.1 ab	31.4 b	155.7 c	137.4 ab	293.1 ± 8.9 b
	1%区	100.4 b	79.0 a	80.6 a	34.2 ab	43.3 a	179.4 b	158.1 a	337.5 ± 7.6 a
	3%区	122.0 a	86.0 a	81.6 a	36.6 a	40.8 a	207.9 a	158.9 a	366.9 ± 9.0 a
	無処理区	56.2 d	66.5 b	61.8 a	23.2 b	30.2 b	122.7 d	115.2 b	237.8 ± 10.8 c

<sup>z</sup>細根は直径0.2cm以下、太根0.2cm以上<sup>y</sup>新土、連作土それぞれについて、Tukeyの多重検定により異符号間に5%水準で有意差あり (n=5)<sup>x</sup>平均値±標準誤差

## 6. 連作ほ場での根域への活性炭の混和がウメ幼木の生育に及ぼす影響 (試験6)

活性炭の混和割合を実際の連作ほ場で調査したところ、新梢伸長停止率は1%区が他区に比べてやや低く推移した (表15)。総新梢長は1%区が無処理区に比べて長い傾向であった。試験終了時点の幹径は、1%および3%区が大きい傾向であった (表16)。解体時の乾物重は全体において1%区および3%区が無処理区に比べて大きい傾向であった (表17)。

表15 連作ほ場での根域への活性炭の混和割合と新梢伸長 (2009年)

	新梢伸長停止率 (%) <sup>z</sup>							総新梢長 (cm)
	5/15	5/21	5/27	6/2	6/8	6/14	6/26	
0.5%区	77	77	77	77	77	78	78	1208 ± 249 <sup>y</sup>
1%区	62	67	67	67	67	67	67	1464 ± 74
3%区	78	80	80	81	83	84	86	1491 ± 272
無処理区	75	75	75	82	82	82	92	1142 ± 227
有意性 <sup>x</sup>	-	-	-	-	-	-	-	ns

<sup>z</sup>停止率の調査対象は10cm以上の新梢<sup>y</sup>平均値±標準誤差 (n=6)<sup>x</sup>Tukeyの多重検定により、nsは有意差なし表16 連作ほ場での根域への活性炭の混和割合と幹径<sup>z</sup>

	幹径 (mm)		
	2008年	2009年	
	12/16	5/15	11/18
0.5%区	14.4	14.2	18.1 ± 0.7 <sup>y</sup>
1%区	14.4	14.5	20.0 ± 0.8
3%区	14.4	14.6	19.7 ± 1.1
無処理区	14.4	14.4	17.1 ± 1.1
有意性 <sup>x</sup>	ns	ns	ns

<sup>z</sup>2009年11月18日のみ乾燥後の幹径<sup>y</sup>平均値±標準誤差 (n=6)<sup>x</sup>Tukeyの多重検定により、nsは有意差なし



表17 連作ほ場での根域への活性炭の混和割合と器官別乾物重(2009年)

	器官別乾物重 (g)							
	新梢	主幹	根幹	細根 <sup>z</sup>	太根 <sup>z</sup>	地上部	地下部	全体
0.5%区	218.8	104.2	134.1	24.8	77.5	323.0	236.4	559.4 ± 124.2 <sup>y</sup>
1%区	295.3	120.8	164.3	34.9	137.9	416.1	337.1	753.2 ± 76.5
3%区	254.7	127.1	142.9	33.3	111.4	381.8	287.6	669.4 ± 82.8
無処理区	161.3	94.8	126.2	22.0	93.0	256.1	241.1	497.2 ± 64.4
有意性 <sup>x</sup>	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns

<sup>z</sup>細根は直径0.2cm以下, 太根0.2cm以上<sup>y</sup>平均値±標準誤差 (n=6)<sup>x</sup>Tukeyの多重検定により, nsは有意差なし

## 考 察

作物の連作障害にはアレロパシーが原因のものがあ (藤井, 2000 ; 土屋, 1990), 生育や収量, 収穫果数の減少等の影響に対し, 活性炭の添加が低減作用を有することが, キュウリ (*Cucumis sativus* L.) (浅尾ら, 1998, 1999a), レタス (*Lactuca sativa* L.) 等の葉菜類 (浅尾ら, 2001, Asao et al., 2004), エンドウ (*Pisum sativum*) 等のマメ類 (浅尾ら, 2003a, 2003b ; 元木ら, 2012 ; 西原ら, 2006), アンペラ (*Lomandra longifolia* L.) (Asao et al., 2007), ムクナ (*Mucuna pruriens*) (牧ら, 2004), アスパラガス (*Asparagus officinalis* L.) (Motoki et al., 2004) 等で報告されている. 元木ら (2006b, 2006c) は, アスパラガスには強いアレロパシー活性があることや, ある種の活性炭はそのアレロパシー活性を低減できることを明らかにしている. また, 実際のアスパラガス圃場での改植時においても, 活性炭の処理によって, 特に地下部重, 貯蔵根数, 株養成量および茎の生育が改善されることを明らかにしており (Motoki et al., 2004), 実際の栽培技術に実用化されている. さらに活性炭の混和が園芸作物の育苗期間短縮に有効であることも報告されている (元木ら, 2007). ウメの連作障害についても既報 (大江ら, 2018) でアレロパシーが関与していると考えられ, 生育阻害物質として熱に安定的なフェノール性物質の関与が示唆されている.

まず, アスパラガスで実用化されている活性炭フロアブルの施用効果をウメで検討した. 供試土壌の80%メタノール抽出液は検定植物レタスの生育を阻害したことから (表4), 連作土中に生育阻害物質の存在が示唆されたが, 活性炭フロアブルは新梢伸長, 幹肥大および樹体生育に効果を及ぼさず, 生育阻害軽減につながらなかった. 戸谷ら (2014) もナシにおいて, 活性炭フロアブル処理は新梢伸長や樹体生育等における生育阻害軽減につながらないと報告している. 活性炭は材料, 賦活条件等により孔径の大きさが異なり, 吸着される物質が異なる (西原・元木, 2009) ことから, 活性炭フロアブルに使われているヤシガラ系活性炭にはウメやナシの連作障害の原因となる生育阻害物質に対する吸着性が低いものと判断された. そこで次に, ウメの連作障害軽減に有効な活性炭を探索することとし, レタスの幼植物体を用いて連作障害軽減作用の検定を行った. すると, いくつかの木質系活性炭とヤシガラ系活性炭でレタスの生育阻害軽減効果が認められた. また, 一部の木質系活性炭は, フェノール性物質を吸着する試薬のPPVPと同等にウメ根に含まれるフェノール性物質を吸着し, 実際に連作土へ混和することでウメ実生苗や幼木の生育を改善した. よって, ウメの連作障害に対するフェノール性物質の関与が改めて示され, ウメ連作障害対策用の活性炭はフェノール性物質吸着性が高いものを用いる必要があると考えられた.

次に、生育阻害軽減作用が安定して確認された M-1 と同質で、同様のフェノール性物質吸着性能や生育改善効果を有し流通量や価格の点で実用化しやすい M-5 を使用して生育阻害低減に最適な混和量を検討した。その結果、ポット試験では新土、連作土ともに 3% (DW/V) までは混和量が多いほど幹肥大、新梢伸長、地上部生育が優れる傾向であった一方、実際の連作ほ場では 1% と 3% 混和で差がなかった。ポット植栽樹とほ場植栽樹で違いがみられた要因として、ポット栽培では根域が制限されているため、生育阻害物質の影響を受けやすく、活性炭の効果がでやすかったのかもしれない。いずれも、1% の混和で生育が改善されたことから、コストを考慮すると混和割合は 1% が適当であると判断された。

以上のことから、ウメの連作障害の軽減に木質系活性炭の土壌混和が有効であることが明らかとなった。本研究を踏まえ、和歌山・堀田 (2011) はウメで選抜した木質系活性炭をモモに用いたところ、活性炭混和だけでは連作障害軽減に効果がないものの、土壌消毒との併用処理により有効であることを報告している。よって今後は、ウメにおいても本活性炭と土壌消毒との併用を検討することで、より連作土における生育を改善できる可能性があるため、さらなる研究が必要がある。

## 摘 要

本試験ではウメの連作障害対策技術を開発する一環として、ウメの生育阻害性低減に効果が高い活性炭の選抜と連作土壌での効果を検討した。

- 1) ウメ園土壌を用いて幼植物による検定を行ったところ、いくつかの木質系活性炭とヤシガラ系活性炭で生育阻害軽減効果が認められた。
- 2) 選抜した活性炭を用いてウメ苗木で複数回にわたり有効性の検討を行ったところ、木質系活性炭 M-1 で安定した効果が確認され、根に含まれるフェノール性物質の吸着能が高いことからウメ連作障害に有効な活性炭として選抜した。
- 3) M-1 と同質で実用化しやすい M-5 を用いて活性炭の混和量を検討した結果、ポット試験では 3% (DW/V) で生育が優れたが、実際の連作ほ場では 1% と 3% 混和で差がなかったことから、コストも考慮すると混和量は 1% が適当であると判断された。

活性炭の選抜および効果試験を行うにあたり、活性炭のご提供および試験へのご助言をいただいた味の素ファインテクノ(株)の平田武氏に感謝の意を表します。

## 引用文献

- Asao, T., H. Kitazawa, T. Ban, M. H. R. Pramanik, Y. Matsui and T. Hosoki. 2004. Search of autotoxic substances in some leaf vegetables. *J. Japan. Soc. Hort. Sci.* 73: 247-249.
- 浅尾俊樹・北澤裕明・細木高志・藤本 弦. 2003a. 水耕培養液非更新および活性炭添加がイチゴの生育および収量に及ぼす影響. *園学雑.* 72 (別 2) : 398.
- 浅尾俊樹・北澤裕明・鷺津和彦・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.
- Asao, T., H. Kitazawa, S. Motoki, Y. Hashimoto and T. Ban. 2007. Amelioration of autotoxic

- soil constraints to lettuce and mat-rush growths by activated charcoals. *Environ. Control Biol.* 45: 33-38.
- 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.
- 浅尾俊樹・Md. H. R. Pramanik・富田浩平・大場友美子・太田勝巳・細木高志・松井佳久. 1999b. 水耕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.
- 浅尾俊樹・谷口久美子・富田浩平・細木高志. 2001. 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.* 70: 519-521.
- 浅尾俊樹・梅山元正・太田勝巳・細木高志・伊藤憲弘・植田尚文. 1998. 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.
- 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.
- 藤井義晴. 2000. アレロパシー. pp. 23-33, 187-189. 農文協. 東京.
- Fukuhara, K., K. Shimizu and I. Kubo. 2004. Arudonine, an allelopathic steroidal glycoalkaloid from the root bark of *Solanum arundo* Mrttei. *Phytochemistry* 65: 1283-1286.
- Gur, A. and Y. Cohen. 1988. Causes of soil sickness in replanted peaches: 1. The role of cyanogenesis in peach soil sickness. *Acta Hort.* 233: 25-31.
- 服部眞幸・平舘俊太郎・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.
- 平野 暁. 1977. 作物の連作障害. pp. 31-32, 87-89, 101-108. 農文協. 東京.
- Kato-Noguchi, H. 2003. Isolation and identification of an allelopathic substance in *Pisum sativum*. *Phytochemistry* 62: 1441-1444.
- 牧 浩之・渡辺和彦・藤井義晴. 2004. 改良型プラントボックス法によるムクナの他感作用の活性炭による軽減. *土肥誌.* 75: 697-700.
- 水谷房雄. 1979. モモのいや地に関する研究 (第 2 報) 根に含まれる生育抑制物質としての縮合性タンニンについて. *園学雑.* 48: 279-287.
- Mizutani, F., R. Hirota and K. Kadoya. 1988. Growth inhibiting substances from peach roots and their possible involvement in peach replant problems. *Acta Hort.* 233: 37-43.
- Motoki, S., T. Hattori, I. Suzumura, T. Ozawa, K. Komatsu and M. Tsukada. 2004. Reduction of the allelopathic effect on asparagus by the flowable agent of activated carbon. *Bul. Nagano Veg. Orn. Exp. Sta.* 12: 31-36.
- 元木 悟・西原英治・平舘俊太郎・藤井義晴・篠原 温. 2006a. 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. *園学研.* 5: 443-446.
- 元木 悟・西原英治・北澤裕明・平舘俊太郎・藤井義晴・篠原 温. 2006b. アスパラガス連作障害のアレロパシー回避における活性炭の利用. *園学研.* 5: 437-442.
- 元木 悟・西原英治・北澤裕明・平舘俊太郎・篠原 温. 2006c. 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: 431-436.
- 元木 悟・西原英治・北澤裕明・久徳康史・上原敬義・矢ヶ崎和弘・酒井浩晃・重盛 勲. 2012. マ

- メ類連作圃場における活性炭施用がダイズの生育および収量性に及ぼす影響. 日作紀. 81: 77-82.
- 元木 悟・西原英治・高橋直志・Hermann Limbers・篠原 温. 2007. 育苗時の活性炭添加によるアレロパシー軽減効果. 園学研. 6: 603-609.
- 西原英治・元木 悟. 2009. 活性炭の農業利用—土地浄化の新技術—. pp. 21-28, 42-47, 61-63, 129-135. 農文協. 東京.
- 西原英治・高橋 聡・平田 武・中野太佳司. 2006. ソラマメのいや地現象（アレロパシー）回避に向けた活性炭利用. 園学雑. 75（別2）: 569.
- 大江孝明・岩尾和哉・細平正人・菅井晴雄. 2003. ウメ‘南高’幼木の成長に及ぼす根含有成分の影響. 和歌山県農林水技セ研報. 4: 23-32.
- 大江孝明・城村徳明・岡室美絵子・西原英治. 2018. ウメの連作障害に関する研究（第1報）ウメ連作土壌および根含有成分の生育阻害作用の評価. 和歌山県農林水研報. 6: 51-59.
- Ohigashi, H., S. Minami, H. Fukui, K. Koshimizu, F. Mizutani, A. Sugiura and T. Tomana. 1982. Flavanols, as plant growth inhibitors from roots of peach, *Prunus persica* Batsh. cv. 'Hakuto'. Agric. Biol. Chem. 46: 2555-2561.
- 田中福代. 2002. 水田への麦わら施用に伴う芳香族カルボン酸の生成と水稻の生育抑制機構に関する研究. 九州沖縄農研セ報. 40: 33-78.
- 戸谷智明・加藤 修・藤井義晴. 2014. ニホンナシ改植における客土のいや地現象軽減効果およびマルチ処理の併用による若木生育促進効果. 園学研. 13: 229-234.
- 土屋一成. 1990. 野菜作におけるアレロパシーの諸問題. 農及園. 65: 9-16.
- 和中 学・堀田宗幹. 2011. 活性炭および土壌消毒処理によるモモの連作障害軽減効果. 和歌山県農林水技セ研報. 12: 33-44.