

2 微生物の生態・生理に及ぼすサンプスギ木炭の影響

千葉大学大学院園芸学研究科

1. 目的

サンプスギ製材残材、被害材等の利活用システムの構築を目的に、サラダナ、インゲン栽培を例とした作物栽培時のスギ炭化物投与の影響について土壤微生物相の変化を中心に検討した。さらに、植物病原菌、キノコ類を中心とした糸状菌の生育に及ぼすスギ炭化物の影響も合わせて検討した。

2. 材料および方法

供試植物としてサラダナ（1，2作目：サマーグリーン（タキイ種苗）；3作目：岡山サラダナ（タキイ種苗））およびインゲン（つるなしモロッコ）、土壤改良資材として3種類（スギ・ナシ・タケ）の木炭を用いて栽培し、サラダナにおいては3回連作した。

木炭の粒径は2種類とし、0.3cm以上1.0cm未満を「粒炭」、0.3cm未満を「粉炭」として使用した。木炭投与量はインゲンでは栽培土壌に対して1%（v/v）、サラダナでは5%（v/v）とした。

各栽培土壌で経時的に根域土壌を採取し、培養法により細菌数および糸状菌数の変化を調べ、優占種の分離を試みた。また、PCR-DGGE法を用いてDNAレベルで土壤微生物の多様性を評価し、培養法で得られた単離菌と比較した。

3. 結果および考察

（1）サラダナ栽培時の収量および土壤微生物相に及ぼすスギ炭化物の影響

①収量変化

炭無添加区やスギ粒炭区では連作障害が顕著だったのに対し、スギ粉炭区およびナシ粉炭区では連作障害が緩和された（図-1）。

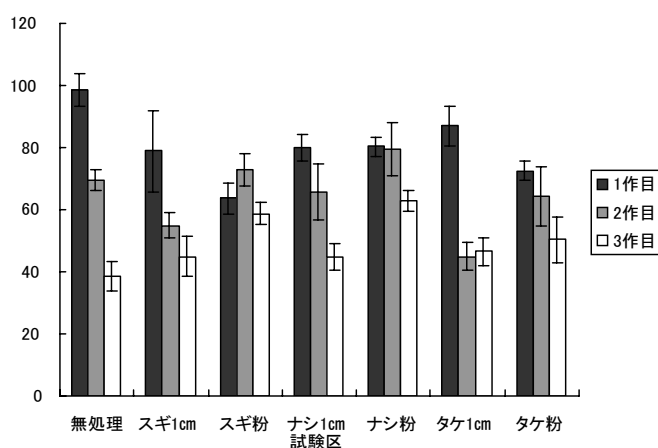


図-1 サラダナ1株あたりの収量比較

②土壤化学性の変化

粉炭ではEC、CEC、交換性塩基はいずれの樹種でも高い値を示す傾向にあり、特に梨の木炭において顕著であった（表-1）。

表-1 木炭の化学性

	EC(dS m ⁻¹)	pH(H ₂ O)	交換性塩基(mg 100g 炭 ⁻¹)			CEC(meq100g 炭 ⁻¹)
			K	Ca	Mg	
スギ粒	0.68	10.0	1125.5	759.3	109.8	9.59
ナシ粒	2.51	10.4	1629.7	366.0	120.4	10.92
タケ粒	1.67	10.0	1433.4	64.8	140.5	6.27
スギ粉	1.05	11.0	836.1	1992.5	274.7	1.14
ナシ粉	2.92	10.5	3951.1	1285.0	487.7	8.32
タケ粉	1.78	10.5	2409.0	992.3	327.2	3.07

交換性 K₂O は梨粉炭区のみ栽培段階がすすむにつれ増加し、収穫期には最大となっていた。また、交換性 CaO も梨粉炭区が収穫期に大きく増加した。梨の炭化材を 0.3 cm 未満にすると交換性塩基供給量が増加し、保持能力が向上すると推察された。硝酸態窒素の流亡量、0.3 cm 未満の炭粉処理区で多く、1 cm 炭処理区では無処理区より少ない傾向にあった (表-2, 3)。

以上のことから、1 cm 程度の木炭の施用では特に硝酸態窒素の流亡を抑制していることがわかった。また、粉体の木炭の施用では土壌の養分保持・供給能力を高める可能性が示唆された。

③培養法による土壌細菌数および糸状菌数変化の解析

糸状菌は栽培中に増加する傾向があり、細菌数は逆に減少する傾向が認められた (図-2, 3)。また、細菌数は木炭を混合した区において栽培と栽培の合間に急激に増加していたが、無処理区ではこのような顕著な増加は見られなかった。糸状菌を栽培段階毎に単離し同定したところ、栽培を重ねるに連れて分離される種類が増加した。特に、1 回目の栽培前に単離された糸状菌のうち、*Aspergillus fumigatus*, *Penicillium expansum*, *Penicillium citreonigrum* は全期間を通して頻繁に観察された。

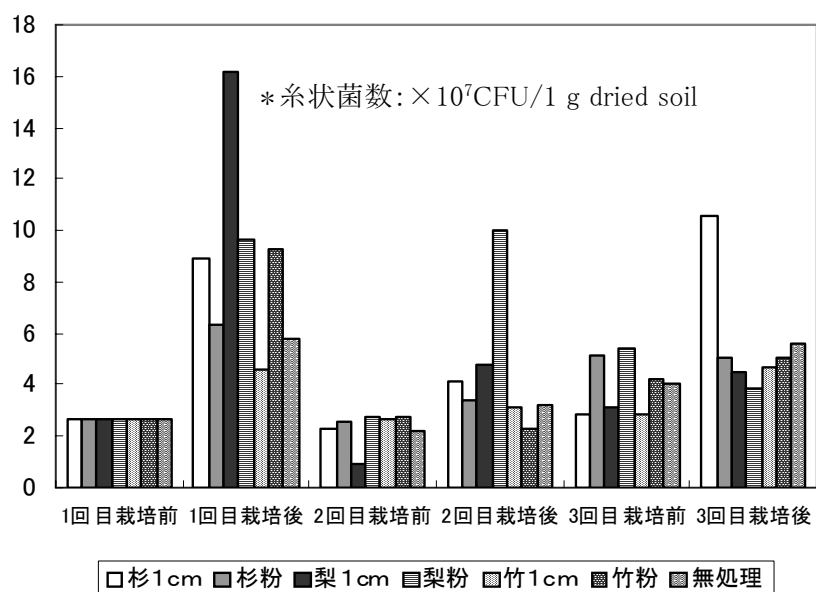


図-2 糸状菌数の変化

表-2 サラダナ栽培土壌の理化学性

サラダナ土壌分析:1作目									
7月6日(定植時)									
EC(dS m ⁻¹)	pH(H ₂ O)	pH(KCl)	リン酸吸収係数 (mg P ₂ O ₅ 100gD.S. ⁻¹)	交換性塩基(mg・100gD.S. ⁻¹)			CEC (meq 100gD.S. ⁻¹)		
				K ₂ O	CaO	MgO			
無処理	0.46	6.5	5.6	1416±13.7	261.6±10.7	379.1±33.5	246.3±30.1	25.3±1.0	
スギ1cm	0.56	6.5	5.5	1395±21.9	324.7±1.4	531.6±36.6	340.0±15.0	25.9±0.5	
スギ粉	0.56	6.7	5.8	1480±21.4	291.1±27.1	404.4±47.3	223.5±34.9	25.1±1.7	
ナシ1cm	0.57	6.6	5.9	1428±9.5	345.2±14.6	562.6±41.9	335.1±20.6	25.9±2.3	
ナシ粉	0.59	7.4	7.0	1512±20.9	377.3±32.5	910.6±89.9	252.5±27.4	26.9±0.3	
タケ1cm	0.58	6.5	5.8	1500±23.8	346.5±16.9	488.0±42.1	314.8±21.3	27.0±0.7	
タケ粉	0.51	6.9	6.0	1381±27.4	377.7±16.3	485.4±7.6	313.8±7.1	23.6±0.6	

7月27日									
EC(dS m ⁻¹)	pH(H ₂ O)	pH(KCl)	リン酸吸収係数 (mg P ₂ O ₅ 100gD.S. ⁻¹)	交換性塩基(mg・100gD.S. ⁻¹)			CEC (meq 100gD.S. ⁻¹)		
				K ₂ O	CaO	MgO			
無処理	0.45	6.3	5.7	1476±16.5	484.6±44.5	544.0±40.6	267.3(±21.4)	23.7±1.8	
スギ1cm	0.44	6.4	5.7	1428±15.9	339.6±19.6	506.9±30.3	292.8(±16.2)	26.6±0.7	
スギ粉	0.54	6.4	5.9	1497±42.6	546.8±55.6	547.5±57.0	263.2(±21.6)	26.5±0.7	
ナシ1cm	0.48	6.3	5.8	1439±21.1	377.7±10.3	563.7±40.9	271.6(±13.6)	25.1±1.7	
ナシ粉	0.52	7.4	6.8	1561±14.0	402.6±72.9	609.5±71.6	148.4(±26.0)	21.7±1.0	
タケ1cm	0.45	6.3	5.6	1405±9.7	330.8±10.7	508.7±23.7	270.0(±12.9)	24.7±1.4	
タケ粉	0.41	6.8	6.1	1386±24.3	427.2±27.9	467.3±59.1	216.3(±29.4)	24.1±1.4	

8月13日(収穫期)									
EC(dS m ⁻¹)	pH(H ₂ O)	pH(KCl)	リン酸吸収係数 (mg P ₂ O ₅ 100gD.S. ⁻¹)	交換性塩基(mg・100gD.S. ⁻¹)			CEC (meq 100gD.S. ⁻¹)		
				K ₂ O	CaO	MgO			
無処理	0.32	6.1	5.5	1258±24.9	330.0±22.0	399.6±38.0	195.7±23.6	26.5±0.6	
スギ1cm	0.42	5.5	5.4	1466±38.1	177.7±49.4	265.2±9.8	133.7±3.0	28.2±1.4	
スギ粉	0.39	6.6	5.9	1264±14.6	420.5±22.8	514.0±19.6	233.0±7.1	24.2±1.3	
ナシ1cm	0.27	6.4	5.8	1474±22.3	357.6±26.9	418.5±49.2	150.8±7.6	27.3±0.8	
ナシ粉	0.38	7.4	6.8	1347±29.8	658.3±50.8	1021.7±31.0	274.4±6.0	31.9±1.4	
タケ1cm	0.26	6.5	5.7	1440±24.7	387.6±36.9	457.6±13.1	228.5±9.7	33.5±5.8	
タケ粉	0.22	6.9	6.1	1248±34.5	372.7±42.5	462.0±41.3	202.0±25.2	28.3±0.8	

サラダナ土壌分析:2作目									
9月8日(定植期)									
EC(dS m ⁻¹)	pH(H ₂ O)	pH(KCl)	リン酸吸収係数 (mg P ₂ O ₅ 100gD.S. ⁻¹)	交換性塩基(mg・100gD.S. ⁻¹)			CEC (meq 100gD.S. ⁻¹)		
				K ₂ O	CaO	MgO			
無処理	0.64	6.1	5.4	1426±21.5	419.5±18.4	662.6(±48.8)	314.5(±21.2)	28.9±2.3	
スギ1cm	0.94	6.2	5.5	1557±51.2	373.3±50.0	470.2(±63.1)	196.2(±36.3)	35.8±9.9	
スギ粉	0.98	6.4	5.7	1472±77.7	456.9±60.8	537.3(±77.9)	225.4(±42.1)	30.1±1.6	
ナシ1cm	1.02	6.3	5.7	1444±15.9	287.1±117.4	328.8(±151.3)	124.0(±77.1)	38.6±8.4	
ナシ粉	0.94	7.2	6.7	1612±45.5	681.8±126.9	951.6(±108.8)	258.7(±47.5)	30.1±1.9	
タケ1cm	0.77	6.3	5.6	1406±26.8	401.8±26.6	583.2(±146.1)	261.6(±76.9)	37.0±7.5	
タケ粉	0.63	6.5	5.8	1387±30.6	723.4±18.2	881.3(±29.6)	409.7(±10.7)	32.4±0.5	

9月27日									
EC(dS m ⁻¹)	pH(H ₂ O)	pH(KCl)	リン酸吸収係数 (mg P ₂ O ₅ 100gD.S. ⁻¹)	交換性塩基(mg・100gD.S. ⁻¹)			CEC (meq 100gD.S. ⁻¹)		
				K ₂ O	CaO	MgO			
無処理	0.53	6.3	5.3	1437±22.3	187.0(±10.4)	471.6(±45.2)	207.5(±23.2)	41.6±5.6	
スギ1cm	0.73	6.0	5.3	1432±20.6	199.6(±10.2)	546.2(±34.5)	249.2(±17.0)	28.0±2.2	
スギ粉	0.68	6.3	5.7	1521±37.6	223.5(±8.3)	598.5(±30.6)	235.1(±19.5)	35.5±2.7	
ナシ1cm	0.58	6.2	5.6	1472±20.1	199.4(±16.7)	534.5(±54.6)	213.5(±29.2)	38.2±1.6	
ナシ粉	0.52	7.2	6.7	1486±44.8	283.8(±15.2)	892.5(±41.3)	218.9(±12.0)	53.3±5.7	
タケ1cm	0.41	6.3	5.5	1504±61.1	201.8(±9.4)	536.9(±41.0)	233.5(±24.6)	37.5±1.4	
タケ粉	0.49	6.4	5.8	1333±23.3	256.1(±17.6)	574.4(±43.2)	249.9(±27.8)	38.5±1.5	

10月11日(収穫期)									
EC(dS m ⁻¹)	pH(H ₂ O)	pH(KCl)	リン酸吸収係数 (mg P ₂ O ₅ 100gD.S. ⁻¹)	交換性塩基(mg・100gD.S. ⁻¹)			CEC (meq 100gD.S. ⁻¹)		
				K ₂ O	CaO	MgO			
無処理	0.34	6.4	5.7	1358±11.5	120.5(±4.9)	548.7(±37.0)	210.2(±13.3)	32.3±0.7	
スギ1cm	0.31	6.4	5.7	1659±104.7	109.1(±12.2)	399.3(±100.5)	128.2(±32.5)	34.1±2.4	
スギ粉	0.37	6.8	6.0	1356±32.3	142.0(±17.4)	563.5(±109.6)	180.0(±33.1)	34.8±4.3	
ナシ1cm	0.31	6.6	5.8	1730±61.2	161.7(±14.2)	570.5(±57.3)	197.7(±25.5)	37.7±4.8	
ナシ粉	0.44	7.3	6.8	1363±16.3	211.7(±35.7)	843.3(±113.6)	194.4(±34.7)	35.4±1.0	
タケ1cm	0.40	6.4	5.6	1314±35.5	167.7(±3.4)	57.4(±19.9)	223.0(±6.3)	35.1±3.3	
タケ粉	0.32	6.9	6.3	1702±33.4	161.0(±13.3)	625.9(±53.3)	203.9(±36.1)	46.1±4.0	

サラダナ土壌分析:3作目									
11月6日(定植期)									
EC(dS m ⁻¹)	pH(H ₂ O)	pH(KCl)	リン酸吸収係数 (mg P ₂ O ₅ 100gD.S. ⁻¹)	交換性塩基(mg・100g ⁻¹)			CEC (meq 100g ⁻¹)		
				K ₂ O	CaO	MgO			
無処理	0.77	6.3	5.7	1407±8.4	328.6(±11.7)	780.4(±8.3)	327.3(±1.6)	48.1±3.8	
スギ1cm	1.04	6.3	5.7	1478±27.1	367.9(±29.2)	553.5(±58.0)	334.8(±20.2)	39.7±1.5	
スギ粉	1.27	6.3	6.1	1489±17.5	501.2(±21.9)	802.3(±19.0)	359.9(±5.5)	40.1±3.1	
ナシ1cm	0.79	6.5	6.1	1350±23.9	275.2(±45.6)	573.2(±98.0)	211.6(±53.2)	39.8±1.2	
ナシ粉	1.07	7.0	6.9	1466±35.9	637.8(±22.6)	1282.1(±55.2)	386.2(±15.1)	63.6±8.2	
タケ1cm	0.60	6.5	5.9	1400±18.5	392.5(±7.1)	772.5(±120.8)	369.8(±74.8)	45.3±4.3	
タケ粉	0.81	6.6	6.2	1370±12.0	431.8(±16.9)	815.9(±24.7)	344.9(±3.8)	44.4±4.3	

12月1日									
EC(dS m ⁻¹)	pH(H ₂ O)	pH(KCl)	リン酸吸収係数 (mg P ₂ O ₅ 100gD.S. ⁻¹)	交換性塩基(mg・100g ⁻¹)			CEC (meq 100g ⁻¹)		
				K ₂ O	CaO	MgO			
無処理	1.42	5.5	5.1	1804±49.4	436.1(±18.6)	907.8(±34.2)	393.4(±20.4)	36.6±4.6	
スギ1cm	1.53	5.6	5.2	1540±25.7	447.8(±17.7)	861.3(±47.2)	356.1(±25.3)	46.2±5.2	
スギ粉	1.28	5.8	5.3	1872±63.7	498.8(±12.1)	1043.5(±46.3)	332.4(±58.9)	33.8±4.8	
ナシ1cm	1.46	5.8	5.2	2055±104.3	501.3(±30.7)	985.4(±49.6)	296.8(±61.9)	37.9±1.5	
ナシ粉	1.50	6.6	6.5	1853±82.8	476.3(±62.0)	1089.9(±127.3)	322.2(±56.0)	33.5±0.9	
タケ1cm	1.59	5.4	5.0	1803±18.5	340.7(±84.8)	519.6(±63.8)	302.4(±55.3)	32.5±0.7	
タケ粉	1.51	5.7	5.5	1829±34.2	628.5(±29.3)	1131.7(±43.8)	511.2(±28.0)	36.1±4.7	

12月12日(収穫期)									
EC(dS m ⁻¹)	pH(H ₂ O)	pH(KCl)	リン酸吸収係数 (mg P ₂ O ₅ 100gD.S. ⁻¹)	交換性塩基(mg・100g ⁻¹)			CEC (meq 100g ⁻¹)		
				K ₂ O	CaO	MgO			
無処理	0.95	5.3	4.9	1640±56.3	318.8(±12.9)	566.4(±57.0)	191.2(±22.8)	33.1±3.8	
スギ1cm	0.80	5.3	5.0	1592±42.9	267.4(±18.7)	520.5(±85.8)	187.0(±37.4)	40.7±5.2	
スギ粉	0.96	5.5	5.1	1580±41.0	374.0(±41.7)	691.1(±104.7)	240.8(±41.7)	27.6±1.8	
ナシ1cm	0.81	5.5	5.1	1609±39.9	336.9(±47.2)	643.9(±83.4)	240.5(±36.6)	30.0±6.7	
ナシ粉	0.90	6.6	6.3	1666±45.3	509.0(±66.7)	1165.5(±74.0)	322.2(±38.5)	34.6±0.7	
タケ1cm	0.99	5.3	4.9	1534±47.1	277.1(±27.7)	503.7(±93.8)	177.5(±46.1)	31.0±1.9	
タケ粉	0.93	5.7	5.2	1594±43.4	390.2(±45.9)	620.9(±77.9)	232.5(±47.0)	34.0±2.9	

表-3 サラダナ排液の理化学性

サラダナ排液分析: 1作目							
7月6日(定植時)							
	EC(dS m ⁻¹)	pH	流出量				
			NO ₃ -N(mg)	PO ₄ -P(mg)	K(mg)	Ca(mg)	Mg(mg)
無処理	4.20	5.8	78.5(±5.4)	1.51(±0.60)	90.5(±4.9)	44.6(±2.9)	40.6(±2.2)
スギ1cm	4.17	5.5	95.3(±7.4)	1.25(±0.32)	87.6(±20.9)	45.0(±5.9)	44.8(±2.0)
スギ粉	3.71	5.7	49.6(±2.9)	1.89(±0.70)	102.7(±1.9)	35.8(±1.7)	38.1(±4.2)
ナシ1cm	3.32	6.2	51.4(±3.8)	1.80(±0.10)	97.3(±1.2)	30.9(±3.0)	40.2(±4.3)
ナシ粉	4.04	6.9	60.9(±3.3)	1.86(±0.29)	218.2(±69.7)	42.3(±2.6)	46.7(±1.3)
タケ1cm	3.66	5.8	59.6(±3.7)	1.44(±0.24)	97.1(±2.8)	36.1(±1.2)	33.9(±1.1)
タケ粉	3.13	6.3	36.9(±1.7)	1.09(±0.24)	168.6(±67.7)	23.3(±1.8)	41.8(±2.5)

8月13日(収穫期)							
(17日間)							
	EC(dS m ⁻¹)	pH	流出量				
			NO ₃ -N(mg)	PO ₄ -P(mg)	K(mg)	Ca(mg)	Mg(mg)
無処理	2.80	5.5	21.9(±0.7)	0.14(±0.05)	17.6(±3.4)	16.1(±4.4)	16.4(±1.9)
スギ1cm	3.12	5.6	18.6(±2.4)	0.30(±0.10)	21.2(±7.1)	15.4(±8.8)	15.0(±4.3)
スギ粉	4.50	5.9	24.3(±1.4)	0.26(±0.14)	39.2(±1.0)	23.1(±1.1)	17.7(±0.6)
ナシ1cm	3.28	5.6	30.9(±6.6)	0.70(±0.27)	37.3(±8.5)	18.5(±5.4)	16.5(±2.3)
ナシ粉	3.54	6.8	36.4(±9.6)	1.41(±0.25)	41.1(±10.0)	28.1(±15.5)	18.2(±6.2)
タケ1cm	2.78	5.9	18.3(±5.1)	0.15(±0.09)	25.7(±1.2)	12.1(±0.8)	18.8(±0.7)
タケ粉	2.27	6.2	15.1(±0.8)	0.51(±0.29)	30.4(±10.3)	9.7(±4.1)	16.7(±5.8)

サラダナ排液分析: 2作目							
9月8日(定植期)							
	EC(dS m ⁻¹)	pH	流出量				
			NO ₃ -N(mg)	PO ₄ -P(mg)	K(mg)	Ca(mg)	Mg(mg)
無処理	3.31	5.6	90.2(±4.3)	1.96(±0.12)	68.7(±3.2)	57.5(±2.9)	25.1(±2.5)
スギ1cm	4.37	5.9	104.3(±20.1)	0.40(±0.14)	98.6(±6.2)	76.6(±3.6)	28.5(±2.0)
スギ粉	5.19	5.9	129.2(±12.8)	1.92(±0.57)	155.3(±4.2)	106.7(±4.1)	36.9(±1.4)
ナシ1cm	3.33	6.0	85.5(±7.9)	1.04(±0.16)	99.4(±4.6)	61.7(±2.6)	24.4(±2.9)
ナシ粉	3.99	7.1	78.8(±4.7)	2.26(±0.36)	126.3(±11.8)	75.7(±7.4)	27.5(±2.4)
タケ1cm	2.60	5.9	61.4(±12.5)	0.34(±0.19)	74.4(±8.2)	44.4(±5.0)	27.0(±2.8)
タケ粉	3.48	6.3	82.4(±6.7)	1.32(±0.18)	108.2(±6.3)	54.2(±3.3)	24.7(±2.4)

10月11日(収穫期)							
(14日間)							
	EC(dS m ⁻¹)	pH	流出量				
			NO ₃ -N(mg)	PO ₄ -P(mg)	K(mg)	Ca(mg)	Mg(mg)
無処理	2.56	5.8	26.3(±0.8)	0.20(±0.02)	22.9(±0.6)	24.3(±1.3)	18.7(±1.6)
スギ1cm	2.60	5.7	26.3(±1.2)	0.21(±0.03)	35.1(±1.6)	27.4(±2.0)	16.7(±1.4)
スギ粉	2.97	6.0	38.5(±3.6)	0.33(±0.03)	52.2(±3.1)	36.1(±3.1)	25.0(±2.6)
ナシ1cm	2.29	6.2	25.5(±3.0)	0.45(±0.07)	46.4(±4.0)	25.0(±1.8)	15.9(±1.1)
ナシ粉	2.57	7.0	18.3(±2.6)	0.84(±0.11)	43.8(±4.8)	25.8(±2.9)	11.4(±1.2)
タケ1cm	2.36	5.9	12.2(±0.9)	0.13(±0.01)	21.3(±1.5)	12.2(±0.9)	8.8(±0.6)
タケ粉	2.09	6.4	17.9(±1.4)	0.54(±0.14)	38.3(±4.6)	17.3(±1.9)	13.6(±1.3)

サラダナ排液分析: 3作目							
11月6日(定植期)							
	EC(dS m ⁻¹)	pH	流出量				
			NO ₃ -N(mg)	PO ₄ -P(mg)	K(mg)	Ca(mg)	Mg(mg)
無処理	6.44	4.9	31.1(±2.1)	3.62(±0.69)	79.2(±5.2)	53.2(±2.5)	28.5(±1.6)
スギ1cm	5.73	4.6	24.4(±1.1)	3.03(±0.10)	84.6(±2.5)	55.1(±2.5)	27.0(±1.2)
スギ粉	5.21	4.9	41.1(±4.1)	2.07(±0.29)	92.6(±9.2)	62.5(±5.5)	30.1(±3.1)
ナシ1cm	6.37	4.9	23.8(±3.8)	3.57(±0.41)	92.1(±12.4)	52.3(±7.9)	26.9(±4.9)
ナシ粉	6.66	5.4	45.8(±3.6)	6.14(±1.31)	185.9(±9.1)	101.1(±6.2)	43.6(±2.0)
タケ1cm	6.29	5.2	26.1(±1.9)	6.74(±0.63)	115.4(±12.9)	62.3(±4.5)	35.3(±2.2)
タケ粉	6.21	4.6	33.5(±2.1)	3.95(±0.16)	105.8(±5.3)	57.8(±4.1)	31.2(±2.1)

12月12日(収穫期)							
(11日間)							
	EC(dS m ⁻¹)	pH	流出量				
			NO ₃ -N(mg)	PO ₄ -P(mg)	K(mg)	Ca(mg)	Mg(mg)
無処理	4.88	5.0	41.0(±1.6)	0.54(±0.05)	57.4(±2.9)	28.1(±1.2)	16.5(±0.9)
スギ1cm	4.90	4.7	54.5(±2.5)	0.65(±0.11)	76.2(±3.9)	38.2(±2.0)	18.4(±1.0)
スギ粉	4.40	5.0	52.3(±2.3)	0.45(±0.02)	67.3(±3.5)	33.2(±1.0)	19.6(±0.5)
ナシ1cm	4.77	5.1	46.0(±6.0)	0.63(±0.10)	72.9(±10.6)	33.5(±4.9)	17.6(±1.4)
ナシ粉	5.04	5.8	62.9(±5.9)	0.87(±0.11)	102.0(±2.8)	51.1(±2.3)	19.2(±0.9)
タケ1cm	4.81	4.9	47.1(±3.4)	0.71(±0.07)	78.7(±2.3)	34.3(±1.0)	17.3(±0.7)
タケ粉	5.07	5.0	47.2(±2.2)	0.68(±0.07)	72.9(±3.3)	30.9(±1.9)	14.8(±0.7)

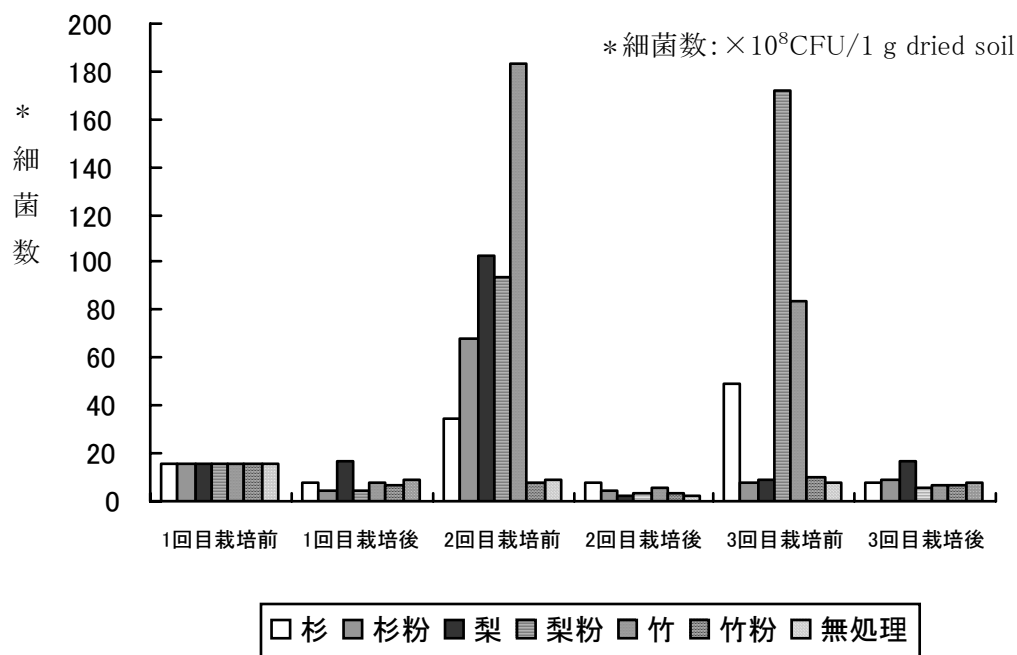


図-3 細菌数の変化

④PCR-DGGE 法による土壌微生物相の解析

栽培一回目終了時には各処理区の菌相は、部分的な差異はあるものの比較的類似していた(図-4)。栽培三回目終了時には、すべての処理区で共通する微生物も確認できるが、ナシに特徴的なバンドが認められるように、各処理区で菌相が異なっていた(図-5)。また、連作障害が強く生じたスギ粒炭区や無処理区において菌相(図-5 枠内)が類似していた。さらに、I-3の培養法による検討で単離された細菌群(図-4、5 両端レーンで示されたマーカー菌)と同一移動度を示すバンドも多く認められた。

一方、栽培後の木炭に生息する微生物相を検討したところ、図-4の右3レーンのように、*Flavobacterium* sp.を示すバンドが明確に認められた。本菌以外にも類似する挙動を示すバンドも認められることから、木炭に生息しやすい細菌群が存在する可能性が示唆された。

以上の結果から、PCR-DGGE法により木炭投与による根域および木炭に生息する土壌微生物相の変化を簡便に解析することが可能と思われた。

⑤走査型電子顕微鏡によるサラダナ栽培前後の木炭の表面観察

④において、木炭に生息しやすい微生物の存在が予想された。そこで、電子顕微鏡観察により、木炭表面を観察し、木炭で特異的に生息する微生物の存在の有無を確認することとした。

栽培前には木炭表面に付着する糸状菌や細菌はほとんど観察されないが、栽培後はスギ炭等で糸状菌や細菌が木炭に付着している様子が確認された。しかしながら、電子顕微鏡観察だけでは、菌種の特定をすることは困難であった。木炭に生息する微生物の解析については、今後、FISH法と併用し、前述したPCR-DGGE法の結果を含めて総合的に検討する必要があると思われる。

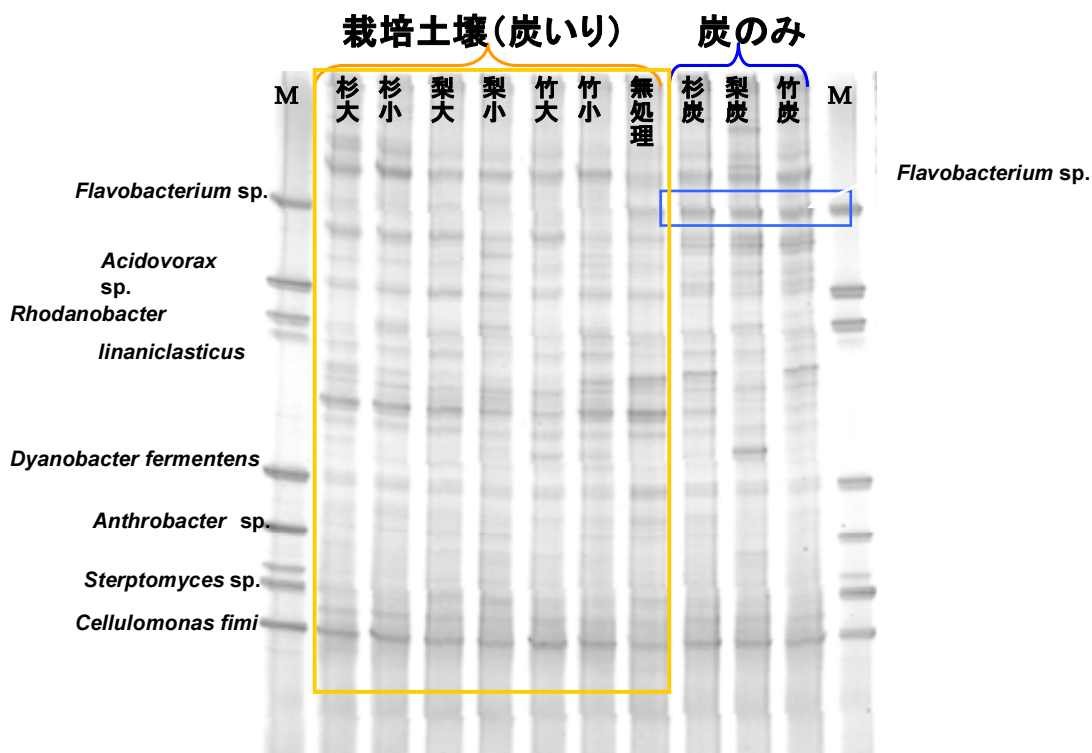


図-4 一作目後のPCR-DGGE分析

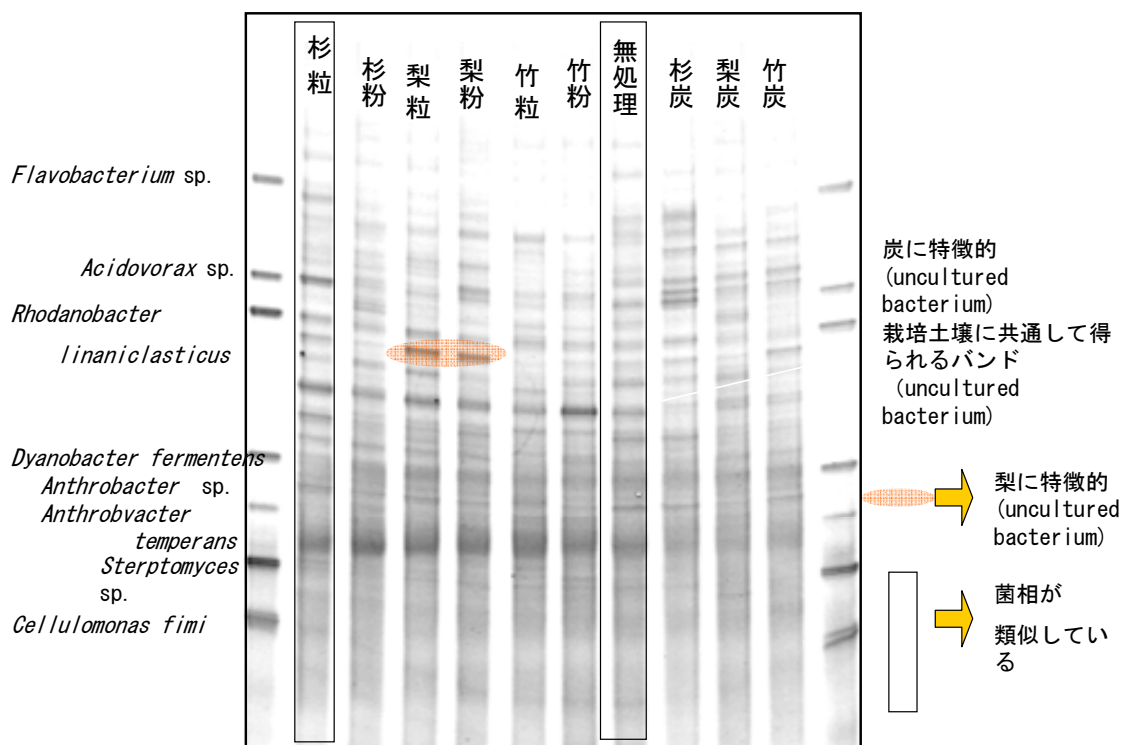


図-5 三作目後のPCR-DGGE分析

(2) インゲン栽培時の収量および土壌微生物相に及ぼすスギ炭化物の影響

①収量

スギ粉炭区において収量が最大となった(図-6)。

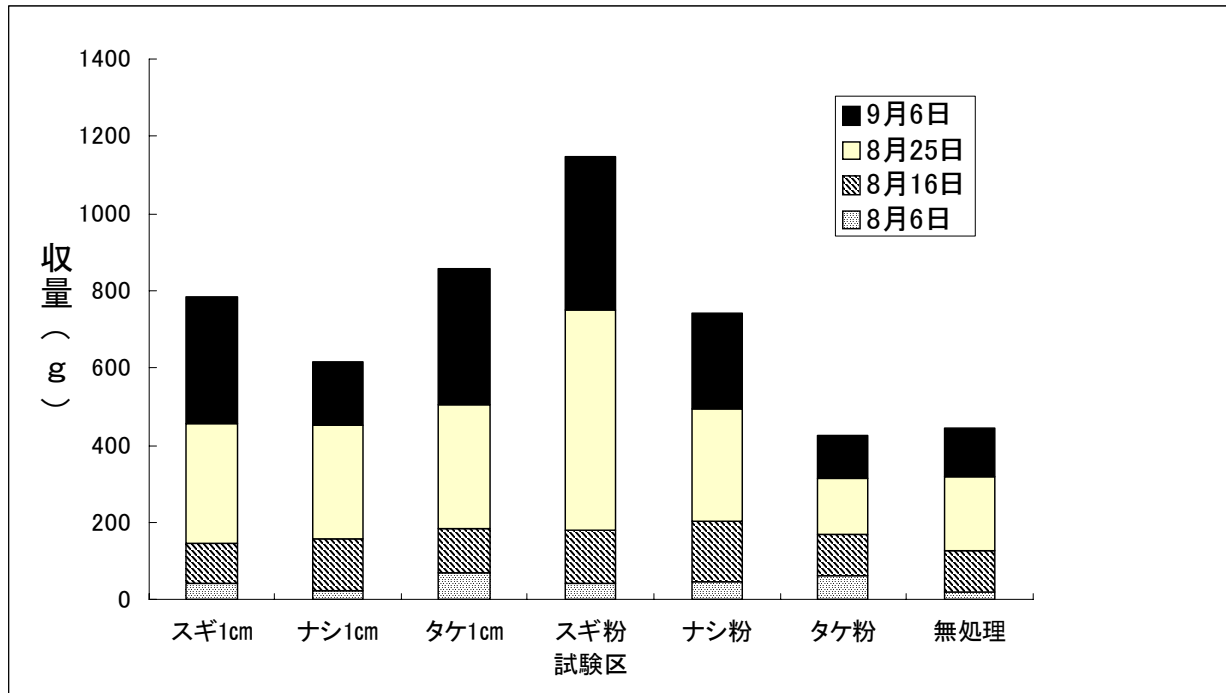


図-6 インゲンの収量(生体重)

②土壌化学性および細菌数の変化

pHとECについては、栽培前後を比較して、これらの値に大きな変化はなく、木炭の樹種の違いによる差も生じていなかった(表-4)。これは土壌の緩衝作用により、木炭を1%(v/v)混合した程度では土壌化学性に变化を与えるものではないと考えられた。

細菌数は栽培初期においてばらつきが見られたものの栽培後には安定している傾向が見られたが、顕著に多い、少ないなどの差が見られた処理区はなかった。

③PCR-DGGE法による土壌微生物相の解析

栽培前の土壌と、栽培後の土壌をPCR-DGGE法で比較した結果、栽培前後において菌相はほぼ変化していないことが明らかとなった(データ示さず)。

以上のように、インゲンにおいては、スギ粉炭投与により収量が上昇するといった興味深い結果が得られたが、化学性や微生物相の解析でその要因を説明できるには至らなかった。

(3) 糸状菌の生育におよぼすスギ炭化物の影響

本節では、植物病原菌、有用糸状菌、キノコ類の生育に及ぼすスギ炭化物の影響を検討した。

①植物病原菌、有用糸状菌の生育に及ぼすスギ炭化物の影響

Botrytis cinerea(イチゴハイイロカビ病菌), *Penicillium* sp. (有用酵素生産菌), *Aspergillus niger* (有用酵素生産菌)では木炭(0.5~2%, w/w)をPDA培地に混合しても、生育にはほとんど影響が認められなかった。一方、*Colletrichum lagenarium* (キュウリタンソ病菌)および *Roseellina necatrix* (白モンパ病菌)では木炭(2%)の添加により、やや生育が抑制された(デー

タ示さず)。

②キノコ類の菌糸の生育に及ぼすスギ炭化物の影響

マイタケ、ブナシメジ、シイタケでは木炭添加量が増加するにつれて PDA 培地における生育が抑制されていた (図-7)。これに対して、エノキタケでは生育が良好で 0.25% 添加でもっとも良好となった。

液体培地におけるスギ炭化物添加の影響を検討したところ、マイタケではスギ粉炭を 1.0% 以上液体培地に添加すると菌糸は生育しなかったものの、0.5% では菌糸が成育し、長期間の培養では無添加のものより生育が良好となった。特に、培養 150 日で、子実体原基の形成が確認された。

表-4 インゲン栽培土壌の理化学性

インゲン土壌分析:1作目		6月28日(定植時)							
	EC(dS m ⁻¹)	pH(H ₂ O)	pH(KCl)	リン酸吸収係数	交換性塩基(mg・100gD.S. ⁻¹)			CEC (meq・100gD.S. ⁻¹)	
				(mg P ₂ O ₅ 100gD.S. ⁻¹)	K ₂ O	CaO	MgO		
無処理	0.17	7.9	7.3	2681	70.4	1409.1	29.4	14.8	
スギ1cm	0.18	8.0	7.3	2698	85.1	1838.3	32.3	18.9	
スギ粉	0.17	8.0	7.3	2706	79.4	1622.9	30.6	18.4	
ナシ1cm	0.13	8.1	7.4	2664	80.3	1263.0	35.2	20.1	
ナシ粉	0.31	8.1	7.4	2629	88.0	1795.8	35.6	20.5	
タケ1cm	0.12	8.1	7.3	2648	78.3	1817.6	33.8	19.1	
タケ粉	0.14	8.1	7.4	2659	89.2	1739.0	35.1	15.5	

7月16日									
	EC(dS m ⁻¹)	pH(H ₂ O)	pH(KCl)	リン酸吸収係数	交換性塩基(mg・100gD.S. ⁻¹)			CEC (meq・100gD.S. ⁻¹)	
				(mg P ₂ O ₅ 100gD.S. ⁻¹)	K ₂ O	CaO	MgO		
無処理	0.04	7.9	7.4	2489	55.7	1409.1	31.9	19.6	
スギ1cm	0.05	7.9	7.2	2538	96.2	1838.3	44.0	18.9	
スギ粉	0.05	8.0	7.3	2523	94.9	1622.9	39.5	14.5	
ナシ1cm	0.05	7.9	7.2	2568	47.8	1263.0	30.0	20.0	
ナシ粉	0.06	7.9	7.3	2502	95.9	1795.8	47.1	15.9	
タケ1cm	0.05	8.0	7.2	2542	90.0	1817.6	47.0	20.4	
タケ粉	0.05	7.9	7.3	2490	95.9	1739.0	44.9	19.1	

8月2日									
	EC(dS m ⁻¹)	pH(H ₂ O)	pH(KCl)	リン酸吸収係数	交換性塩基(mg・100gD.S. ⁻¹)			CEC (meq・100gD.S. ⁻¹)	
				(mg P ₂ O ₅ 100gD.S. ⁻¹)	K ₂ O	CaO	MgO		
無処理	0.04	7.8	7.2	2366	75.5	1746.4	36.3	17.4	
スギ1cm	0.04	7.6	7.2	2423	50.2	1449.4	31.4	19.1	
スギ粉	0.04	7.8	7.3	2376	75.5	1804.3	40.0	19.6	
ナシ1cm	0.04	7.8	7.3	2222	59.6	1518.6	31.8	19.6	
ナシ粉	0.04	7.9	7.3	2416	67.9	1608.6	41.3	17.4	
タケ1cm	0.07	7.7	7.3	2176	33.3	1209.0	25.7	19.0	
タケ粉	0.04	8.0	7.3	2260	60.4	1542.1	33.0	19.3	

9月9日(収穫期)									
	EC(dS m ⁻¹)	pH(H ₂ O)	pH(KCl)	リン酸吸収係数	交換性塩基(mg・100gD.S. ⁻¹)			CEC (meq・100gD.S. ⁻¹)	
				(mg P ₂ O ₅ 100gD.S. ⁻¹)	K ₂ O	CaO	MgO		
無処理	0.12	8.2	7.3	2560	67.9	2128.2		16.8	
スギ1cm	0.13	8.3	7.6	1999	101.9	2030.0		17.2	
スギ粉	0.13	8.3	7.6	2302	117.6	1971.8		16.7	
ナシ1cm	0.10	8.3	7.6	2079	105.6	1871.3		17.6	
ナシ粉	0.10	8.3	7.6	2475	96.3	1999.7		19.0	
タケ1cm	0.16	8.2	7.6	2266	87.9	2148.6		17.4	
タケ粉	0.12	8.1	7.6	2206	181.9	1636.8		16.3	

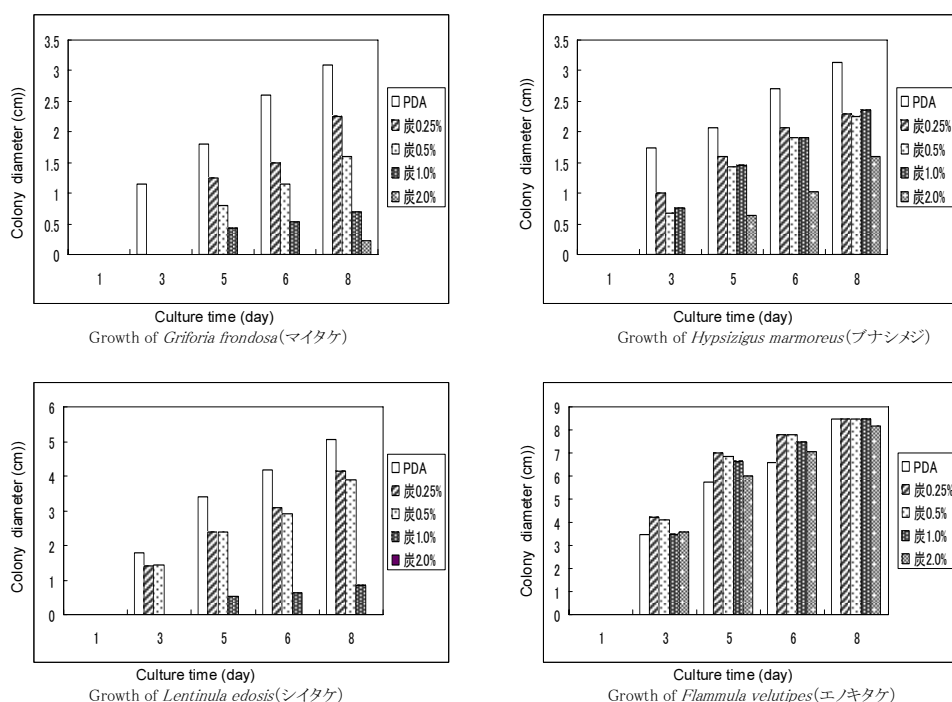


図-7 各種担子菌の菌糸伸長に及ぼすスギ粉炭の影響

4. まとめ

- (1) 今回の検討において、スギ粉炭はサラダナ連作障害を緩和し、インゲンの収量を増大させた。
- (2) PCR-DGGE 法により木炭投与による土壌微生物相の動態を迅速かつ簡便に解析することが可能となった。
- (3) サラダナの連作において栽培中に糸状菌数は増加し、細菌数は減少する傾向にあった。細菌数に関しては栽培と栽培の合間に増加が確認された。
- (4) PCR-DGGE 法ではインゲンの栽培前後で菌相変化は確認できなかったが、サラダナでは連作障害が強い土壌で特徴的なバンドパターンが得られた。特に、バンドの一部は、PCR-DGGE 法による解析により、培養法で単離した優占種（細菌）と一致していた。
- (5) 木炭の施用やその種類、形状によっても菌相が変化し、連作障害の緩和に関係することも予想された。
- (6) PCR-DGGE 法による解析で、栽培後の木炭に特徴的な菌の存在も確認され、走査型電子顕微鏡においても木炭に付着している細菌や糸状菌が確認された。このことから木炭に生息しやすい菌の存在が示唆された。