

軽油汚染土壌におけるジニアの生育が
浄化効果及び土壌の物理性に及ぼす影響について
Effects of Zinnia Growth on Purification and Soil Physics on Oil-contaminated Soils

○甲斐貴光*、三田 誠**、玉置雅彦***

Takamitsu Kai*, Makoto Mita**, and Masahiko Tamaki***

1. はじめに

石油は原料、機械を動かすための潤滑油、自動車や暖房の燃料など様々な用途で用いられており、日常生活において重要な存在となっている。しかしながら、採掘や輸送、加工の際の漏出などが原因で、土壌中に浸透した油が重大な環境汚染を引き起こしていることが報告されている (Riser-Roberts, 1992 ; Khan et al., 2004 ; Kaimi et al., 2006)。油汚染土壌の主な浄化技術として、掘削除去、熱分解、汚染水抽出などが挙げられる。これらの浄化方法は比較的短時間で確実な効果が得られる反面、多額の費用や大掛かりな装置が必要である。このような背景から、コストが安価で環境負荷の小さい技術として本研究では、軽油汚染土壌にジニアを栽培し、ジニアの生育状況、軽油汚染土壌の浄化効果および土壌の物理性の経時的変化を調査した。

2. 材料と方法

供試植物として、ジニア (*Zinnia hybrida*) の 'Profusion White' (株式会社サカタのタネ) を用いた。また、試験土壌として市販の黒土 (有限会社廣田商店) を用いた。土壌を約 2 週間風乾させた後、2 mm の篩いにかけた。その後、土壌および軽油の重量比が 100 : 4 となるように両者を均一に混合させるため、ソイルミキサー (有限会社名古屋トーカイ) 中で

土壌を攪拌しながら、軽油を少しずつ添加した。温室内で 2 日に 1 度、軽油を添加した土壌を攪拌し、揮発性成分を揮発させ、模擬軽油汚染土壌 (以下、汚染土壌) とした。初期の土壌 TPH 濃度は $24,591 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ であった。

全処理区を **Table 1** に示す。1/5,000 a ワグネルポットに非汚染土壌および汚染土壌をそれぞれ 3 L 充填し、ジニアの種子を 1 ポットあたり 8 粒ずつ播種し、出芽後 3 株に間引いた。灌水は土壌表面が乾燥した時を目安に約 300 mL をポット底部から流出しないように与えた。施肥は元肥としてマグアンプ K (N : P : K : Mg = 6 : 40 : 6 : 15、株式会社ハイポネックスジャパン) を土壌 1 L あたり 8 g、追肥として 500 倍希釈した HYPONEX (N : P₂O₅ : K₂O = 6 : 10 : 5、株式会社ハイポネックスジャパン) を生育期間中に 1 週間に 1 回、灌水の代わりに施用した。試験開始後 40 日目、80 日目および 120 日目に各処理区から無作為に 3 ポットずつサンプリングした (全ポット数は 9 つずつ)。草丈、地上部乾物重、花数、土壌 TPH (Total Petroleum Hydrocarbon) 濃度、土壌 DHA (Dehydrogenase activity) 量、基本的物理性、飽和透水試験および pF 試験を測定した。

Table 1 処理区

ジニア	非汚染土壌	汚染土壌
非栽培	NN 区	ON 区
栽培	NP 区	OP 区

*明治大学黒川農場、**明治大学大学院農学研究科、***摂南大学農学部、*Kurokawa Field Science Center, Meiji University、**Graduate School of Agriculture, Meiji University、***Faculty of Agriculture, Setsunan University; キーワード: ファイトレメディエーション、ジニア生育、植物体測定、土壌 TPH 濃度、土壌 DHA 量、粗間隙

3. 結果

① 土壌 TPH 濃度の推移を **Table 2** に示す。

OP 区の土壌 TPH 濃度は、試験開始後 0 日目、40 日目、80 日目、120 日目と時間の経過に伴って有意に低くなった。

② 土壌 DHA 量の推移を **Table 3** に示す。OP 区の土壌 DHA 量は、試験開始後 80 日目から 120 日目と時間の経過に伴い大きくなった。また、試験開始後 40 日目、80 日目、120 日目の全試験期間で、OP 区の土壌 DHA 量は、他の処理区と比較して大きかった。

③ 乾燥密度、間隙率、粗間隙率の推移を **Table 4** にそれぞれ示す。試験開始後 40 日目、80 日目、120 日目を通して、OP 区の乾燥密度と間隙率は、ほぼ同様であった。また、OP 区の粗間隙率は、時間の経過に伴い大きくなっていった。

Table 2 土壌 TPH 濃度の推移

処理区	土壌 TPH 濃度 (mg-diesel·kg ⁻¹ soil±SE)			
	0 日間	40 日間	80 日間	120 日目
ON 区	24,591±819 ^{aA}	17,845±846 B	19,094±1,487 B	19,075±425 B
OP 区	24,591±819 ^{aA}	17,095±499 B	16,295±200 BC	14,425±101 C
t 検定	n.s.	n.s.	n.s.	*

^a 値は平均値±標準誤差

[∇] 異なる英大文字は同一処理区における日数間の Tukey の多重比較検定で $p < 0.05$ で有意差あり ($n=3$)

* は処理区間の t 検定で $p < 0.05$ で有意差あり ($n=3$)

n.s. は処理区間の t 検定で $p < 0.05$ で有意差なし

Table 3 土壌 DHA 量の推移

処理区	土壌 DHA 量 (mg INTF·g ⁻¹ DW·h ⁻¹ ±SE)		
	40 日間	80 日間	120 日目
NN 区	7.28±0.29 ^{aA}	4.76±0.15 b B	3.87±0.20 c B
NP 区	7.39±0.10 a AB	6.15±0.27 ab B	9.34±0.95 b A
ON 区	7.54±0.19 a A	5.61±0.18 ab B	7.12±0.32 b A
OP 区	9.92±1.51 a AB	7.10±0.72 a B	11.90±0.19 a A

^a 値は平均値±標準誤差

[∇] 異なる英小文字は同一日数における処理区間の Tukey の多重比較検定で $p < 0.05$ で有意差あり ($n=3$)

* 異なる英大文字は同一処理区における日数間の Tukey の多重比較検定で $p < 0.05$ で有意差あり ($n=3$)

④ 試験開始後 40 日目と 120 日目における OP 区の pF-水分分布曲線を **Fig. 1** に示す。40 日目で pF1.8~2.0 (等価毛管直径: 0.048~0.03 mm) と pF3.0~3.2 (同: 0.003~0.0019mm) にピークがあり、120 日目では pF1.5~1.8 mm (同: 0.09~0.048 mm) と pF3.0~3.2 (同:

Table 4 乾燥密度、間隙率および粗間隙率の推移

処理区	乾燥密度 (g·cm ⁻³ ±SE)		
	40 日目	80 日目	120 日目
NN 区	0.61±0.01 ^b A ^x	0.61±0.01 ab A	0.59±0.01 b A
NP 区	0.62±0.01 b A	0.56±0.02 b A	0.61±0.02 b A
ON 区	0.64±0.01 ab B	0.65±0.01 a B	0.69±0.01 a A
OP 区	0.67±0.01 a A	0.64±0.01 a B	0.66±0.01 a AB
処理区	間隙率 (%±SE)		
	40 日目	80 日目	120 日目
NN 区	72.0±0.33 a A	71.7±0.32 ab A	72.5±0.37 a A
NP 区	71.4±0.28 a A	74.1±0.73 a A	71.7±0.42 a A
ON 区	70.6±0.16 ab A	69.9±0.24 b A	67.9±0.11 b B
OP 区	69.1±0.23 b B	70.5±0.17 b A	69.5±0.15 b AB
処理区	粗間隙率 (%±SE)		
	40 日目	80 日目	120 日目
NN 区	19.0±1.65 a A	23.2±1.17 a A	23.8±1.79 a A
NP 区	17.6±2.17 a A	22.3±1.18 a A	24.6±1.47 a A
ON 区	15.9±0.42 ab A	14.8±1.22 b A	13.5±0.98 b A
OP 区	10.7±1.07 b C	13.7±0.40 b B	18.1±0.07 b A

^a 値は平均値±標準誤差

[∇] 異なる英小文字は同一日数における処理区間の Tukey の多重比較検定で $p < 0.05$ で有意差あり ($n=3$)

* 異なる英大文字は同一処理区における日数間の Tukey の多重比較検定で $p < 0.05$ で有意差あり ($n=3$)

0.003~0.0019 mm) にピークがあった。このことから時間の経過に伴って、低 pF 領域の早い段階での排水が行われるようになった。

4. 考察

軽油汚染土壌にジニアを生育した場合、ジニアの根圏土壌やその周辺に生息する微生物のうち、油分解能を有する微生物が軽油成分を栄養源とし、微生物の増殖など微生物の活性を高め、その微生物が軽油汚染土壌の浄化効果に寄与したと考えられた。油脂分解微生物の働きによって軽油が分解された間隙では、根系が発達し断片的だった管状間隙や亀裂などがネットワークの良好な間隙となり、土壌の物理的機能がより向上することが見込まれる。

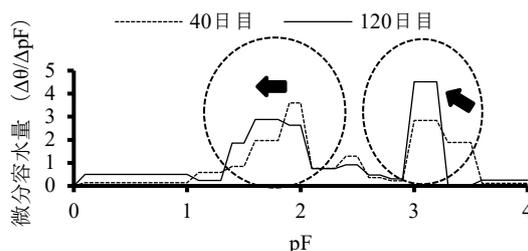


Fig. 1 試験開始後 40 日目と 120 日目における pF-水分分布曲線 (OP 区)