

## 丹波黒大豆を守る！～廃材を活用した土づくりの挑戦～

村山広夢・早川義希・中馬唯吹・糸川 駿・庄治優介・曹 永河・柳原大樹・毛利莉緒・伊藤正貴(兵庫県立篠山東雲高等学校 しなのめ黒大豆研究チーム)

### 1 きっかけ

丹波黒は大粒の黒大豆として江戸時代から栽培が続く丹波篠山の特産物である。近年、ゲリラ豪雨や夏季の過乾燥などの異常気象に対応した畝間かん水などにより、黒根腐れ病(図1, 2)などの立ち枯れ性病害が多発し、収穫量に大きな影響を与えている。丹波篠山においては、水田の転作品目として生産が拡大されたことにより、排水不良畑での畝間かん水による影響も大きく、その対応策を地域で検討している。しかも、この病害に対する有効な登録薬剤も限られており、その防除法は確立されていない。

そこで、地域からの依頼を受け、独立行政法人農業・食品産業技術総合研究機構中央農業総合研究センター(以下、中央農研)との研究協定を締結し、現地資材を活用した拮抗性トリコデルマ属菌(T-29 菌株、以下トリコデルマ菌と記載する)の増殖と資材化技術の開発による機能性たい肥現地供給システムの研究を行うこととなった。

### 2 目的

丹波黒における黒根腐れ病害を調査し、生育や収穫量への影響を明らかにする。また、トリコデルマ菌の効果を調査し、その増殖と地元で調達可能な資材を用いた機能性たい肥を作成する。さらにその効果を測定し、実用性を調査することにした。

### 3 事前調査

#### (1) 黒根腐れ病について

まず黒根腐れ病によりどのような被害が出るのか調査を行った。中央農研の生物的病害制御研究チームの仲川晃生先生にご指導いただき、篠山市小多田ほ場における調査に同行した。黒根腐れ病はその罹病の進行度合いで0～4に分け、評価を行うことを教えていただいた(図3)。



図3. 黒根腐れ病の進行の度合い



図4. 8～11月の罹病株の割合

その名の通り、根を腐らせる病気であり、根からの養分吸収ができなくなることで、植物体を枯死させることがわかった。また、病原菌(黒根腐れ病菌)が多湿の条件で異常繁殖を行い、丹波黒の根に寄生し、根を腐らせていることが調査から判明した。また、8月中旬より、徐々に感染が始まり、10月中旬でピークを迎える(図4)。なお、その判定基準は図5のとおりである。今後の調査の指標として用いることとした。

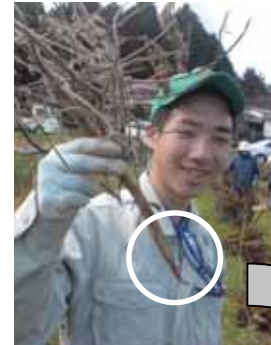


図1. 罹病した黒大豆の根



図2. 黒根腐れ病

(2) 収穫量に対する影響調査

今回の調査では収穫量に対する影響も調査したいと考えた。そこで、指標となる罹病進行度0から4にあたる株(各20株)について、収穫量の調査を行った。なお、JA丹波ささやまの選別規格に基づき調査を実施した。

※大きさの等級について

- 2L…亀甲3分21番(10.0mm) 網上
- L …亀甲3分18番(9.0mm) 網上
- M …亀甲2.5分23番(7.0mm) 網上
- S …Mの網下(6.0mm~6.9mm)
- 外品…5.9mm以下およびくず豆(裂皮、割れなど)

表1. 小多田ほ場での罹病の進行度と1株あたりの莢数および粒数

罹病の進行度	平均莢数	2L	L	M	S	外	合計
0	245.5	176.0	18.0	92.0	0.2	17.3	303.5
1	231.3	59.3	12.3	8.0	0.7	175.3	255.7
2	241.7	28.0	5.0	48.0	0.4	214.5	295.9
3	142.1	7.5	2.1	12.0	0.5	133.0	155.1
4	167.2	4.7	2.3	13.3	0.3	188.3	209.0

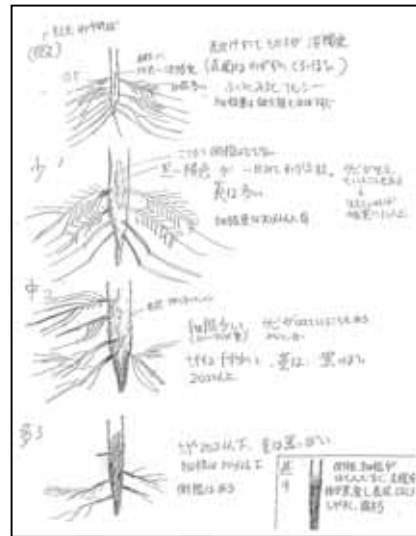


図5. 黒根腐れ病の罹病の進行度の判定基準



図6. 4生育期と代表的収量構成形質(松本・朝日 1977)\*1

商品価値の高い2L・Lの粒数は、罹病が進むにつれて極端に減っている。また、1株あたりの粒数も減少傾向にあり、大豆の収量構成要素である粒数(莢数×1莢平均粒数)に影響を及ぼしていることが明らかになった。罹病進行度1と2については莢数への影響が少ないことから、子実の肥大期への影響があると推察した。しかし、罹病進行度3と4については、莢数決定期(図6)においても黒根腐れ病の影響があることが示唆された。そこで、さらに、1株あたりの収穫量や1粒重などの調査を行った(表2)。

表2. 罹病の進行度と1株あたりの収穫量(g)(秀品率:1株の合計に対する2L・Lの割合)

罹病の進行度	2L	L	M	S	外	合計	秀品率
0	145.93	13.23	53.16	0.06	11.78	224.16	71.0%
1	44.65	7.60	4.30	0.21	115.42	172.18	30.3%
2	20.43	3.04	25.27	0.12	129.65	178.51	13.1%
3	5.42	1.21	6.43	0.17	76.25	89.48	7.4%
4	3.30	1.45	6.69	0.11	94.19	105.74	4.5%

1株あたりの収穫量を比較したところ、粒数との相関関係が見られた。また、秀品率においては罹病が進むにつれてその割合が減少していることがわかり、収穫量に大きな影響を与える結果となった。根からの養分吸収が同化作用に影響を及ぼし、子実の肥大に大きな影響を与えていることが推察される。さらにその影響を調査するため、平均1粒重についても調査した(表3)。1粒重については、ある程度まで肥大して

表3. 小多田ほ場での罹病の進行度と平均1粒重(g)

罹病の進行度	2L	L	M	S	外	1株毎の平均(g)	100粒重(g)
0	0.829	0.735	0.578	0.300	0.681	0.739	73.9
1	0.752	0.616	0.538	0.315	0.658	0.673	67.3
2	0.729	0.608	0.526	0.300	0.604	0.603	60.3
3	0.723	0.576	0.535	0.340	0.573	0.577	57.7
4	0.706	0.623	0.502	0.330	0.500	0.506	50.6

いるものは通常に近い生育が得られていることも、この結果から明らかになった。しかし、粒数の調査と関連付けて考えるとその影響は甚大である。特に罹病の進行度合いが進むにつれて全体的に1粒重も減少し、さらに品質の高い粒数が減少するという結果となった。そこで、実際の出荷価格にあてはめて、罹病調査結果から収益をシュミレーションした。

この結果から、約12万円(20.2%)もの被害が出ることを算出した。莢数決定期から被害を受け、粒数や品質に大きな影響を与えることで、黒大豆生産者の経営に大きな痛手を与えることが明確になった。

### (3) 調査のまとめ

総合的に調査を行った結果、罹病の進行度1と2については、子実肥大期での養分吸収に影響があると推察された。また、罹病の進行度3と4については、莢数決定期での影響が示唆された。罹病の時期やその度合いにより、収穫量に甚大な影響を与えることが明らかになった。早期における病害防除の必要性があると考えられる。

## 4 研究内容

### (1) 黒根腐れ病菌に対するトリコデルマ菌の拮抗性調査

まず始めに、トリコデルマ菌の増殖に取り掛かった。その後、黒根腐れ病から病原菌を採取し、こちらも増殖を行った。黒根腐れ病菌にトリコデルマ菌を植え付けることで、その拮抗性を検証した。実験は以下のとおりである。

#### 実験 1

##### ・PDA培地の作成

サイコロ切りしたジャガイモ200gを水に入れて湯がく。布でこした湯がき汁に砂糖30gを加え、1Lになるように調整する。寒天8gを加えて、固形培地とする。

##### ・トリコデルマ菌の植え付けと繁殖

トリコデルマ菌を培地中央に植え付けてから3週間後の様子(図7)。独特の菌相(菌糸や孢子(深緑色))を持つ。PDA培地での繁殖に成功した。



図7. PDA培地でのトリコデルマ菌の培養

#### 実験 2

##### ・黒根腐れ病菌の採取

丹波黒の黒根腐れ罹病株より、黒根腐れ病菌(図8)を取り出し、選抜と増殖(図9)を行った。培地は実験1と同様のPDA培地を用いた。

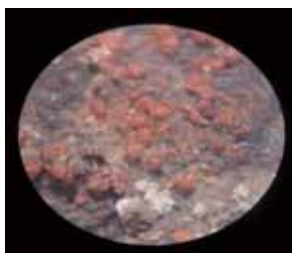


図8. 取り出した黒根腐れ病菌



図9. PDA培地での黒根腐れ病菌の増殖

#### 実験 3

##### ・トリコデルマ菌の拮抗性調査

トリコデルマ菌と黒根腐れ病菌をPDA培地に接種し、その繁殖について観察を行った(図10)。

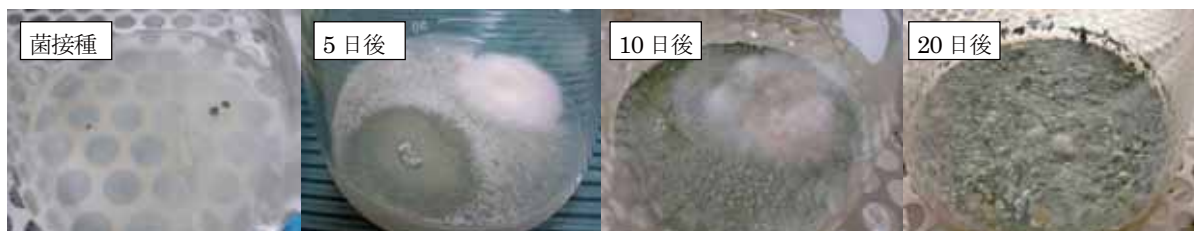


図10. PDA培地でのトリコデルマ菌と黒根腐れ病菌の同時培養の経過

培地の左にトリコデルマ菌、右に黒根腐れ病菌を接種した。その結果はトリコデルマ菌が黒根腐れ病菌のコロニーを浸食し、最終的にはトリコデルマ菌が多くを占めるという菌密度になった。

よって、黒根腐れ病菌に対する拮抗性を示すことが明らかになった。

## (2) 機能性たい肥の作成法の検討

トリコデルマ菌の拮抗性が確認できたことで、次は機能性たい肥の作成法を検討することになった。そこで、作成法を右表のように考え、作成実験を行うことにした。

### ～機能性たい肥の作成手順～

- ① PDA培地にて、菌を増殖する。
- ② 増殖した菌を資材に添加し、繁殖させる。
- ③ ②の資材をたい肥に混ぜて、菌の繁殖を行う。

※菌種を作成し、たい肥に混ぜる手法を選択した。

### 実験 1

トリコデルマ菌の繁殖させることを目標に適正な資材を選択するための実験を行った。安価で手に入りやすい資材を検討した結果、米ぬか、粃殻、大麦について試験区を設定することにした。シイタケ菌床栽培用の袋を用いて、各資材に水（30%）を加えて培養資材（1袋2kg）をつくり、繁殖実験を行った(図11)。

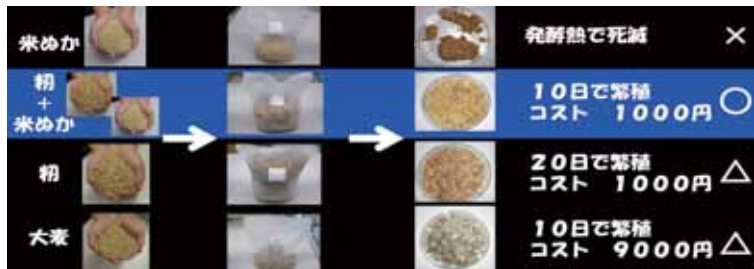


図11. 各種資材でのトリコデルマ菌の生育状況とコスト

トリコデルマ菌は50℃以上の高温になると死滅してしまうことが知られており、米ぬかの試験区においては、発酵熱が高くなったため、菌が死滅してしまった。粃については、栄養が少ないため繁殖しにくく、大麦については一番繁殖が旺盛であ

ったが、高コストのため、菌種の資材としては利用できないという結論とした。

そこで、丹波きのご園（地元企業）の協力を得て、シイタケ栽培の廃菌床を繁殖用資材として活用する実験を行った。これまでの資材で繁殖が最も良く、1週間ほどで菌種が完成した(図12)。

丹波きのご園では1日2000個の廃菌床の処理に苦勞していること、実際に生産者がたい肥として利用していること等を考慮し、無償で大量に調達できる資材として活用することにした。なおトリコデルマ属菌はシイタケの害菌であるが、防除法が確立されており、問題なく活用できる。



図12. シイタケ栽培の廃菌床を用いたトリコデルマ菌の菌種の作成

### 実験 2

実験1で作成した菌種を用いて、機能性たい肥の作成実験を行った。たい肥に対して、菌種5%の割合で混和を行い、トリコデルマ菌の繁殖したたい肥の製作について予備実験を行った。

その結果、たい肥に繁殖したトリコデルマ菌が目視できる程度の繁殖を確認した(図13)。たい肥内の菌密度を上昇させることが実証でき、機能性たい肥の製造が可能となった。そこで、実用化に向けて実際にたい肥に添加する実験に取り組んだ。



図13. たい肥に繁殖したトリコデルマ菌

## (3) 機能性たい肥の菌密度の調査

篠山市小多田生産組合の小島琢弥さんの協力を得て、たい肥へのトリコデルマ菌の菌種混和実験を行った。菌種5%配合、菌種10%配合の試験区をつくり、機能性たい肥1tの製作(図14)

を行った。その後、菌の繁殖を確認するために、菌密度の調査を行った。

その結果、図13でも明らかなように、トリコデルマ菌の繁殖を確認した。なお、菌密度を調査するためにローズベンガルストレプトマイシン培地を用いて、100、



図14. たい肥へのトリコデルマ菌の菌種混和実験

000倍に希釈して測定を行い、菌の繁殖（トリコデルマ菌のコロニー;図15）を確認でき、機能性たい肥を製作することに成功した。

#### (4) 機能性たい肥の発病抑制効果

機能性たい肥の完成を受けて、実際の丹波黒の栽培における効果を調査することにした。試験ほ場には、標準ほ場とあらかじめ黒根腐れ病菌を繁殖させた菌種（大麦を使った培地）を散布した汚染ほ場を作成し、表4のような試験区とした。



図15. 培地でのトリコデルマ菌の確認

調査は9月28日、10月20日、11月19日の3回設定し、中央農研仲川先生に調査協力を依頼した。調査結果は表5、図16のようになった。ただし、9月と10月については、掘り起こし調査ができないため、株の状況（葉の枯れ具合や黄化の具合）を見て判断しているため、参考データとして扱う。

表4. 機能性たい肥の発病抑制効果の検証をした試験区

試験区	機能性たい肥(5%)	機能性たい肥(10%)	対照区
標準ほ場	1.5a	1.5a	1.5a
汚染ほ場	1a	1a	1a
たい肥の施肥時期	2月21日		2月22日
植え付け	畝幅160cm 株間45cm		

表5. 11月19日の抜き取り調査での各ほ場での発病程度

	標準ほ場						汚染ほ場					
	機能性たい肥(5%)		機能性たい肥(10%)		対照区		機能性たい肥(5%)		機能性たい肥(10%)		対照区	
全株数	194	100.0%	196	100.0%	190	100.0%	126	100.0%	126	100.0%	126	100.0%
欠株数	1	0.5%	2	1.0%	1	0.5%	1	0.8%	1	0.8%	0	0.0%
発病株数	13	6.7%	16	8.2%	53	27.9%	67	53.2%	68	54.0%	90	71.4%
発病程度1	10	5.2%	6	3.1%	18	9.5%	21	16.7%	17	13.5%	10	7.9%
2	1	0.5%	7	3.6%	14	7.4%	13	10.3%	13	10.3%	4	3.2%
3	1	0.5%	2	1.0%	13	6.8%	19	15.1%	21	16.7%	26	20.6%
4	1	0.5%	1	0.5%	8	4.2%	14	11.1%	17	13.5%	50	39.7%
発病度	2.4		3.8		15.4		32.0		34.8		58.7	

※ 発病度 =  $\frac{(\text{発病程度1株数} \times 1 + \text{発病程度2株数} \times 2 + \text{発病程度3株数} \times 3 + \text{発病程度4株数} \times 4)}{\text{全株数} \times 4} \times 100$

汚染ほ場での調査結果より、機能性たい肥の効果については、菌種5%および10%の試験区においては発病度に優位な差はなく、機能性たい肥の作成に関する菌種の割合は5%でも充分効果があるという結果になった。また、標準ほ場においては、罹病株の割合が27.9%から、6.7%（機能性たい肥5%）と8.2%（機能性たい

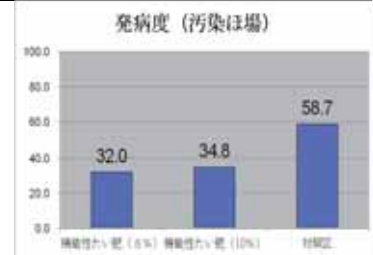


図16. 汚染ほ場でのたい肥の量と発病度

肥 10%)に減少している。このことから、機能性たい肥が黒根腐れ病の予防に効果的であることを示唆していることから、さらに罹病株の収量調査を行うことにした。

#### (5) 機能性たい肥の収量構成要素に与える影響

機能性たい肥の効果を明らかにするために収量構成要素に及ぼす影響を調査した。上記(4)の機能性たい肥区での収量調査を行い、3(2)の現地ほ場調査 (p. 42) と比較して、機能性たい肥の効果を検証した。現地ほ場調査と同じく、罹病度0～4について各20株をランダムに採取して、1株あたりの莢数、粒数、1莢あたりの粒数、品質、1粒重、1株あたりの収量などを調べた。

機能性たい肥区でも、商品価値の高い2L・Lの粒数は罹病が進むにつれて減っていたが、現地の小多田ほ場での調査結果と異なり、品質においても減少割合が緩やかになった。また、1株あたりの粒数についても減少割合が緩やかになった。大豆の収量構成要素である粒数(莢数×1莢平均粒数)への影響が減少していた。罹病進行度4についてはかなりの割合で生育に影響を及ぼしていることがわかり、莢数決定期から、子実肥大期への影響が著しい結果となった。1株あたりの収穫量を比較したところ、粒数との相関関係が見られた。また、秀品率においては罹病が進むにつれてその割合が減少している。小多田ほ場の結果より、その影響が少なくなっており、機能性たい肥の黒根腐れ病に対する予防効果が推察される。さらにその影響を調査するため、平均1粒重についても調査した(表6)。

表6. 機能性たい肥区での罹病の進行度と平均1粒重(g)

罹病の進行度	2L	L	M	S	外	1株毎の平均(g)	100粒重(g)
0	0.842	0.653	0.523	0.395	0.659	0.783	78.3
1	0.825	0.630	0.513	0.303	0.522	0.720	72.0
2	0.814	0.628	0.496	0.318	0.539	0.733	73.3
3	0.830	0.634	0.496	0.391	0.542	0.711	71.1
4	0.689	0.578	0.479	0.347	0.300	0.755	75.5

1粒重については、小多田ほ場(表3)と同様にある程度まで肥大しているものは通常に近い生育が得られていることが明らかになった。しかし、

進行度4では、罹病の影響は甚大であり、全体的に1粒重も減少し、さらに品質の高い粒数が減少するという結果となった。

そこで、今回行った標準ほ場の罹病調査および収量調査をもとに、実際の出荷価格にあてはめて、収益の比較を行った。約12万円(20.7%)の被害額が約1万5千円(2.4%)まで、減少する結果となった。細かく分析すれば、罹病株が27.9%から7.3%に減少し、さらに収量構成要素の莢数や粒数、1粒重などへの影響が少なくなったことが要因である。このことから、機能性たい肥の有効性が明らかになり、実用化に向けた情報発信を行うことになった。

#### 5 地域への普及活動

この研究の取り組みは地域の生産者からの要望もあり、継続的に取り組んだものなので、その経過について新聞などを通じて情報発信を行った。安全で安心な特産栽培につながるとして、注目を集め、生産者からの問い合わせも多くあった。また、畜産農家との連携も図ることができ、循環型農業をめざした環境保全型農業として注目されている。さらに関西テレビ「ニュースアンカー」の”あんたがアンカー”で取り上げられ、徳島や京都などの生産現場から問い合わせがあり、全国の大豆生産現場へ広がりつつある。

現在、市内の土づくり協議会と連携を図り、機能性たい肥の産地全域(栽培面積700ha 1400t)に向けたシステムづくりに取り組んでいる。産官学の連携を通じて、今後も意欲的に研究に取り組んでいきたい。

引用文献 \*1 新版 食用作物学 p168 図70 文永堂出版

