

畑土壌の微生物活性とその規制要因*

東田 修司** 田村 元** 山神 正弘**

十勝地方の畑土壌を供試して、希釈平板法による微生物数、酵素活性、バイオマス、ATPなどを測定し、それらと土壌理化学性ならびに作物収量の関係を検討した。有機物分解にかかわる微生物活性は基質量及び酸素の供給量に規制され、リン酸関連の代謝活性は基質量に加えて有効態のリン酸が高い土壌で高かった。多湿黒ボク土では、黒ボク土に比べて基質含量が高いにも拘わらず、有機物分解に係わる微生物活性が同水準であり、埋設した麦稈の分解率も低かった。これは、多湿黒ボク土では気相率が低く、酸素の供給量が制限されるために、基質に対応して微生物活性が高まりにくい条件にあるためと推定された。ただし、いずれの土壌も気相率が10%以下では麦稈の分解率が低下した。一方、グルコニダーゼとセルラーゼは、農家圃場の収穫期におけるてん菜の窒素吸収量と、また、フォスファターゼはリン酸吸収量と有意な正の相関を示し、土壌酵素活性は、土壌の総合的な環境をあらわす指標となり得ることが示唆された。

はじめに

畑土壌に生息する微生物は畑地の生産性に密接に関連する。マメ科牧草と共生する根粒菌や負の影響を及ぼす土壌病害菌などはよく知られる例であるが、その他の土壌に生息する微生物の働きも無視することはできない。畑地でこれらの特定されない土壌微生物が果たす働きは多岐にわたる。例えば、作物残渣、堆肥や腐植などを分解・無機化して、窒素などの栄養素を作物に供給する⁽¹⁾。土壌によって有機物の分解速度が異なるのであれば、土壌に存在する有機物から無機化する窒素量も異なるはずである。また、作物体にはアレロパシー成分が含まれる場合がある^(2, 20)、根は自分自身にとって有害な老廃物を排出すると考えられる⁽³¹⁾が、これらがほとんど問題にならないのは微生物によって速やかに分解されるからである。分解とは反対に腐植や団粒を生成して^(6, 9)、土壌の物理性を改善したり、根圏で植物ホルモンを生成し根の伸長に影響を及ぼす例も知られている^(4, 5)。さらに、養分競合や生育部位の占有などを通じて、特定の病原菌な

どが爆発的に増殖することを防ぐ場合があると考えられる^(18, 19)。以上の様に、畑土壌における微生物の活動は畑地生産力の基本部分と密接に関連すると考えられる。

畑土壌でこれらの働きを担う微生物群の活性を評価することは、畑地生産力の一つの側面を把握する点で重要である。しかし、これまで微生物特性と作物生産及び実際の圃場条件で有機物分解の関連を求めた研究例は多くない。また、本道における既往の研究では、特定されない一般の微生物を定量化する手段として、主に希釈平板法が用いられることが多かった^(23, 29)。現在、土壌微生物全体の量及び活性を捉える方法として薫蒸法によるバイオマスやATPの測定、及び人工基質を利用した酵素活性の測定などが提唱されているが、これらの方法を応用して本道の土壌の特性を論じた例はほとんどない。

本報告は、各種の方法を用いて十勝地方の畑土壌における土壌微生物活性を把握することと、それと作物生産性との関連を論ずることを目的とする。そのためまず、畑土壌を黒ボク土、多湿黒ボク土、低地土に大きく分け、各種土壌の微生物特性測定値からみた特徴を明らかにするとともに、微生物特性値と土壌条件の関係について検討した。さらに、微生物特性値とてん菜収量、圃場に埋設した麦稈の分解速度の関係を求めた。

実験方法

1) 畑地での土壌微生物特性の実態と作物収量などとの

1995年12月25日受理

*本報の一部は1993年度日本土壌肥料学会北海道支部会で発表した。

**北海道立十勝農業試験場、082北海道河西郡芽室町新生

関連

(1) 調査時期及び対象圃場

芽室町内の各種土壌に立地する農家圃場を対象とし、1991年に調査を行った。微生物特性の測定は9～10月に、土壌物理性の測定は6月上旬に実施した。調査圃場はすべて秋播小麦を前作とするてん菜作付圃場であり、10月中旬にてん菜の収量調査を行った。

(2) 土壌の採取法及び前処理

作物作付期間には、畝のほぼ中間から0～20cmの深さで土壌を採取した。採取には直径3.7cmのステンレス製筒型採土器を用い、雑草や粗大有機物をなるべく避けるように注意した。微生物特性の測定には、2mmのふるいを通した生土壌を用いた。測定はすべて土壌採取後24時間以内に開始することを原則とした。特に断らない限り、微生物特性の測定値を乾土当り(105℃乾燥)で、土壌化学性の測定値を風乾土当り(室温乾燥)で表示した。

(3) 微生物特性の測定方法

① 希釈平板法による微生物数の測定

Higashidaら⁽¹²⁾の報告と同様の手順で測定した。細菌、グラム陰性菌、糸状菌の測定に用いた培地はそれぞれ、卵アルブミン培地、クリスタルバイオレット添加卵アルブミン培地、およびローズベンガル培地である⁽⁷⁾。

② 易分解性有機物量(炭酸ガス放出量)

湿土50gを密栓した容器内で20日間培養し生成した二酸化炭素を水酸化ナトリウム溶液に吸収させ、塩酸で滴定した⁽¹²⁾。

(3) p-ニトロフェノール誘導体による酵素活性の測定

早野ら⁽¹¹⁾の方法に基づいて測定した。湿土2gをポリ試験管(φ18mm×180mm)に秤量し、基質溶液を2ml添加した。よく混和し、30℃の温浴中で1時間培養した。培養終了後、18mlのエタノールを加え、ポリ栓をして、手で数回振とうしてから直ちにろ過した。ろ液5mlをガラス試験管に取り、1mlの2Nトリス溶液(Tris(hydroxymethyl)aminomethane)を加えて発色し、生成したp-ニトロフェノールを400nmで比色定量した。基質溶液としては以下のものを用いた。フォスファターゼ：p-nitrophenyl phosphate, 50mg/100ml (H₂O), β-グルコシダーゼ：p-nitrophenyl β-D-glucopyranoside, 250mg/100ml (H₂O), セルラーゼ：p-nitrophenyl β-D-cellobioside 25mg/100ml (H₂O)。なお、基質用の試薬としてはシグマ製を用いた。

④ FDA活性：Schnürerら⁽²⁴⁾の方法に準じて測定した。よく混和した湿土2gをポリ試験管(φ18mm×180mm)に秤量した。これに、基質ストック溶液を脱塩水で200倍に希釈したものを2ml加え、30℃で培養した。1時間後に、脱塩水18mlを加え、攪拌後直ちにろ過した。ろ液を脱塩水で10倍に希釈し、励起波長493nm、蛍光波長510nmで測定した。基質ストック溶液は200mgのFluorescein diacetate (シグマ製)を100mlのアセトンに溶解したものであり、これを-20℃で保存した。

⑤ 土壌バイオマス：Vanceらの蒸気抽出法によって測定した⁽²⁷⁾。0.5N硫酸カルシウム溶液中の炭素量はチューリン法で測定した⁽¹⁶⁾。蒸気処理した試料から蒸気しなかったものを差し引いて係数2.22を乗じたものをバイオマス炭素とした。

⑥ ATR含量：NRB/LUMIT-PMキット(A Perstorp Analytical Company製)を用いて測定した。湿土2gをポリ試験管(φ18mm×180mm)にとり、20mlの脱塩水を加えて、手で30秒間激しく振とうした。懸濁液をさらに10倍に希釈した。専用セル中で、希釈液100μlにNRB溶液100μlとLUMIT溶液100μlを加え、すばやく混合して、1分後の発色をバイオ・カウンターM1500で測定した。

(4) 埋設麦稈の分解速度

0.5～1cmの長さに切断したエンバク稈3gを、ナイロン布に包んだ。これを圃場に20cmの深さで埋設した。埋め戻しに際しては、土壌をよく踏み込んで踏圧を加えた。約1ヶ月後に堀り出して、乾物分解率を測定した。

2) 土壌環境と微生物活性の関連(培養実験)

(1) 土壌の物理性が微生物活性に及ぼす影響

底蓋をした100ml容の採土缶(直径5cm、高さ5cm)に0.5～1cmの長さに切断したエンバク稈3gを置いた。その上に、淡色黒ボク土(十勝農試圃場から採取)と多湿黒ボク土(芽室町博進の農家圃場から採取)を、それぞれ82及び79g(乾土重)づつ充填した。土壌充填後、脱塩水を添加または室温で乾燥させて、所定の気相率になるように土壌水分を調整した。その後、500ml容のステアロールビンに採土缶を置き、密栓してときどき水分を調整しながら、25℃で30日間培養した。培養後、麦稈の分解率を測定するとともに、採土缶の中央部(2.5cm深)から土壌を採取し、土壌酵素活性を測定した。

(2) 土壌のリン酸レベルと酵素活性の関連

淡色黒ボク土(十勝農試圃場から採取)を250mlのポリビンに30g秤量し、それに所定の量のリン酸カルシウムと摩砕した重焼りんを加えた。良く混合後、アルミ蓋

をして25℃で10日間培養し、酵素活性等を測定した。

実験結果

1) 土壌微生物特性の土壌間差異の実態とその規制要因

(1) 土壌理化学性及び微生物特性の土壌間差異の実態
十勝地方の主要畑土壌である火山性土は、同一母材の場合でも土壌水分の影響を受けて腐植含量が大きく異なる⁽¹⁷⁾。多湿黒ボク土では、過去の多湿条件のために微生物活性が抑制されたことにより有機物が蓄積した。しかし、耕地化のための排水改良や土壌改良資材の施用がなされて化学性が改良された場合、微生物基質となる有機物の含量が多いために、黒ボク土よりもむしろ微生物活性が高まる可能性がある。本項では、十勝地方における畑土壌の主要部分をなす火山性土を多湿黒ボク土と黒ボク土に分け、低地土も含めて平均値の比較からそれぞれの土壌の特徴を抽出しようとした。低地土の中には、

過乾に陥り易い礫質のもの、過湿になりやすいものなど幅広い物理性のものが含まれる。しかし、ここでは調査点数が多くないので、これらを一括して論議した。

まず、供試した土壌の理化学性の平均値を表1に示した。容積重は火山性土に比べて低地土が高かった。多湿黒ボク土で最も低いのは腐植含量が多いことを反映したものである。気相率は黒ボク土で最も高く、多湿黒ボク土で最も低かった。全炭素、全窒素、熱水抽出性窒素、易分解性有機物は腐植の集積した多湿黒ボク土で高かった。低地土は、火山性土に比べてリン酸吸収係数が低く、トルオーグリン酸が高かった。多湿黒ボク土で黒ボク土に比べてトルオーグリン酸が多かったのは、pH改良資材と併行して大量のリン酸資材が投入されたためと思われる。しかしながら、緩衝力の強い多湿黒ボク土のpHは黒ボク土に比べて低かった。易分解性の有機物量は、有意性はないものの多湿黒ボク土で高く、多湿条件のた

表1. 土壌理化学性の土壌間差異

土 壌 理 化 学 性	平均値(変動係数)		
	黒ボク土	多湿黒ボク土	低地土
容積重(g・100ml ⁻¹)	88.3 b (6)	81.6 c (15)	122.6 a (12)
気相率(%)	22.4 a (21)	15.5 b (42)	17.1 b (37)
全炭素(%)	3.7 b (55)	7.7 a (38)	2.5 c (47)
全窒素(%)	0.36 b (12)	0.45 a (11)	0.33 c (10)
熱水抽出性窒素(Nmg・100g ⁻¹)	5.3 b (47)	11.6 a (67)	6.5 b (30)
易分解性有機物 ¹⁾	32.5 (29)	37.4 (49)	28.6 (36)
リン酸吸収係数	1954 a (10)	2037 a (16)	951 b (35)
トルオーグリン酸(P ₂ O ₅ mg・100g ⁻¹)	5.6 b (102)	11.7 b (110)	47.8 a (39)
交換性Ca(CaOmg・100g ⁻¹)	150 b (15)	172 a (23)	156ab(37)
pH(H ₂ O)	6.1 a (4)	5.8 b (4)	6.0ab(4)

1)Cmg・20日⁻¹・100g⁻¹

表2. 微生物特性の土壌間差異

微 生 物 特 性	平均値(変動係数)		
	黒ボク土	多湿黒ボク土	低地土
細菌数(10 ⁶ ・g ⁻¹)	26.1 a (25)	26.6 a (64)	18.9 b (30)
C V耐性菌数(10 ⁶ ・g ⁻¹)	3.2 (44)	2.9 (36)	3.7 (52)
糸状菌数(10 ⁴ ・g ⁻¹)	19.7 (28)	21.7 (24)	18.4 (9)
フォスファターゼ*	13.3 b (17)	16.9 a (37)	14.7ab(30)
グルコシダーゼ*	19.4 a (26)	20.0 a (30)	11.9 b (33)
セルラーゼ*	3.1 a (26)	3.5 a (33)	1.7 b (39)
FDA*	83 (32)	93 (24)	92 (20)
ATP(nmol・g ⁻¹)	322 b (23)	426 a (32)	428 a (23)
バイオマス(mg・100g ⁻¹)	8.7ab(13)	9.4 a (37)	7.7 b (23)

*(nmol・g⁻¹・分⁻¹)

めに易分解性の有機物が蓄積したことが裏付けられる。以上のように、土壌の理化学性には3つに区分した畑土壌の特徴がよく反映されていた。

表2にそれぞれの土壌における微生物特性測定項目の平均値を示した。本報告で用いた微生物特性の測定法のなかで、細菌、CV耐性菌、糸状菌は土壌微生物の構成要素を評価する方法であり、他の測定法は土壌微生物全体を評価する方法である。酵素活性のうち、フォスファターゼはリン酸代謝系の、グルコシダーゼ、セルラーゼは有機物分解系の活性を表すといえよう。

このなかで、バイオマスとフォスファターゼは比較的数据蓄積のある測定項目である。バイオマスは土壌の有機物含量の1~3%程度であることが報告されている⁽²⁾が、十勝地方の畑土壌では0.1~0.5%程度であり、既往の報告に比べてかなり低い値であった。フォスファターゼの値も、既往の報告⁽¹⁴⁾の範囲の比較的低い部分に相当した。

次に各土壌の微生物特性の平均値を比較する。低地土は火山性土に比べて、細菌数、グルコシダーゼ、セルラーゼ、バイオマスが低い傾向であった。希釈平板で計測される細菌数は、土壌に生息する全細菌数の数100から1000分の1程度といわれるが、そのなかの活性が高い部分を計数すると考えられる⁽¹³⁾ので、有機物分解系の酵素活性と同様の傾向を示したと理解される。また、有効態リン酸含量が低かった黒ボク土は多湿黒ボク土に比べて、リン酸代謝と関連するフォスファターゼ、ATPが低い傾向であった。

CV耐性菌は、そのほとんどがグラム陰性の細菌である。グラム陰性菌は、土壌の乾湿の影響を受け易く、養分の要求性が高い。そのため、測定時期によるばらつきが極めて大きい⁽²⁶⁾。値が安定していないことが土壌間

差異がみられなかった要因である可能性がある。それに対し糸状菌は、畑状態での環境ストレスには比較的強く安定して生息すると考えられる。FDAは、リパーゼ、プロテアーゼなどのエステラーゼを評価する方法とされ⁽²⁴⁾、他の酵素活性と類似した酵素活性であると考えられるが、他の酵素活性と異なり、3つに区分した土壌間で差が得られなかった。

(2) 微生物特性と土壌理化学性の相互関係

これらの土壌微生物特性値の大小がどの土壌要因の影響下にあるかを明らかにするため、表1の土壌理化学性と微生物特性の相関を求めた(表3)。CV耐性菌とFDAを除く全ての微生物特性値は、全炭素、熱水抽出性窒素、易分解性有機物のいずれかあるいはすべてと正の相関を示した。これらの土壌要因は、微生物にとっての基質を表す要因であり、土壌中の微生物活動はそのエネルギー源である基質に大きく依存することが理解できる。特に、フォスファターゼ、グルコシダーゼ、セルラーゼの3つの酵素活性は、表3で取り上げた基質と関連する土壌要因すべてと有意な正の相関関係にあった。このことは酵素活性が他の微生物特性と比べてよりの確に土壌の基質要因を反映することを示す。

基質要因の他に、微生物特性と有意な相関が得られた土壌要因は、トルオーグリン酸である。リン酸代謝と関連のあるフォスファターゼ及びATPがこれと正の相関関係を示した。リン酸は微生物にとっても必須の要素であり、有効態のリン酸含量が低い土壌を扱った場合には、これも微生物活性の規制要因であることが報告されている⁽¹³⁾。一方、逆に細菌数及びバイオマスはトルオーグリン酸と負の相関を示したが、これはトルオーグリン酸含量の高い低地土でこれらの測定値が低かったため、見かけ上負の相関が生じたものであろう。また、交換性カ

表3. 全供試土壌における微生物特性と土壌理化学性の関係

微生物特性	容積重	気相率	全炭素	熱水抽出性窒素	易分解性有機物	トルオーグリン酸	交換性CaO	pH
細菌数	-0.500**	0.245	0.229	0.164	0.337*	-0.373*	0.242	-0.000
CV耐性菌数	0.174	0.033	-0.181	-0.122	-0.073	0.128	0.048	0.221
糸状菌数	-0.218	-0.310*	0.361*	0.279	0.032	-0.155	0.017	0.198
フォスファターゼ	-0.159	-0.149	0.437**	0.726**	0.663**	0.366**	0.515**	0.238
グルコシダーゼ	-0.651**	-0.328*	0.482**	0.345*	0.548**	-0.378**	0.200	0.230
セルラーゼ	-0.668**	0.210	0.570**	0.496**	0.720**	-0.301*	0.154	0.155
FDA	0.326*	0.152	-0.231	-0.085	-0.111	0.338*	0.180	0.187
ATP	0.005	-0.150	0.328*	0.631**	0.543**	0.391*	0.417**	0.155
バイオマス	-0.502**	-0.087	0.520**	0.197	0.063	-0.413**	0.528**	0.087

*. **: それぞれ5, 1%水準で有意

ルシウムとフォスファターゼ、ATP及び、バイオマスも有意な正の相関関係にあった。リン酸質資材と石灰質資材は併行して施用される場合が多く、かつ腐植の多い多湿黒ボク土でこれらの資材が多投される傾向があるので、リン酸、カルシウムが微生物特性を直接規制する要因であることを、表3の相関係数のみから判断することはできない。

土壌pHは微生物特性に大きな影響を及ぼすことが報告されている⁽¹³⁾が、本実験では、pHと微生物特性の間に有意な相関関係がみいだせなかった。

2) 土壌物理性とリン酸含量が土壌酵素活性に及ぼす影響

土壌の物理性も酸素の供給などを通じて微生物活性に影響を及ぼす要因と考えられるが、容積重、及び酸素供給の指標となる気相率は酵素活性とマイナスの相関を示す場合があった(表3)。それは、基質の元になる腐植含量と物理性の測定値がここで供試した土壌の範囲では連動していたためと考えられる。そこで、モデル系を用いて、同一の土壌で物理性が微生物特性に及ぼす影響を検討した。同時に、同一の土壌でリン酸が微生物特性に及ぼす影響を確認した。微生物活性の指標としては、基質量をよりの確に反映した酵素活性を主に用いた。

(1) 気相率を変えた土壌の酵素活性と麦稈分解率

気相率は、土壌中の空気と大気中の空気との変換速度を規制する大きな要因である。同一の土壌条件であれば、気相率が小さければ土壌への酸素供給速度が低くなり土壌はより嫌氣的になると考えられる。

淡色黒ボク土、多湿黒ボク土とも気相率が15%までは気相率の増大にともなって、酵素活性が高まったが(表4)、15%処理と20%処理の差は大きくなかった。

麦稈の分解率は両土壌とも気相率5%と10%処理に差がみられず、10%程度であった。一方、土壌酵素活性は気相率5%と10%の間で増加した。このくい違いは、酸素供給が十分でないときには、もともと土壌に生息する微生物が優先的に酵素を利用するため、有機物分解に消費可能な酸素が不足したために生じたものと推察される。気相率15%、20%処理では、淡色黒ボク土の麦稈分解率はいずれも20%まで高まったが、多湿黒ボク土の分解率は、それよりも低く気相率15%で12%にとどまり、気相率20%処理でも淡色黒ボク土での分解率に達しなかった。このように、気相率がある程度高くなっても多湿黒ボク土の麦稈分解率は淡色黒ボク土に比べて低い傾向であった。

(2) リン酸含量を変えた土壌での酵素活性

表4. 気相率の違いが麦稈分解率及び土壌酵素活性に及ぼす影響

供試土壌	気相率 (%)	麦稈分解率 (%)	酵素活性 (nmol・g ⁻¹ ・分 ⁻¹)		
			フォスファターゼ	グルコシダーゼ	セルラーゼ
淡色黒ボク土	5	10	4.0	6.5	1.6
	10	9	5.5	7.8	2.1
	15	20	7.7	11.1	2.9
	20	20	7.5	9.2	2.8
多湿黒ボク土	5	10	3.7	4.7	1.1
	10	10	5.6	6.1	1.4
	15	12	5.9	6.9	1.9
	20	16	6.2	6.5	1.5

表5. 土壌の有効態リン酸レベルが土壌酵素活性に及ぼす影響

添加資材	添加量 (mg・100g ⁻¹ *)	土壌pH	トルオーグリン酸 (mg・100g ⁻¹)	酵素活性 (nmol・g ⁻¹ ・分 ⁻¹)		
				フォスファターゼ	グルコシダーゼ	セルラーゼ
無添加	0	6.0	1	5.5	3.9	0.8
CaPO ₃	100	6.2	15	6.1	3.8	0.9
CaPO ₃	150	6.2	26	6.5	3.0	0.8
CaPO ₃	200	6.2	43	6.9	4.3	0.7
CaPO ₃	400	6.4	116	7.1	3.6	0.8
重焼リン	150	6.0	16	7.2	3.9	0.9

*: P₂O₅としての添加量

リン酸は微生物の生息にも欠かせない要素である。それ故、土壌の有効態リン酸含量は土壌微生物の活性にも影響を及ぼすことが想定される。表3の結果でもトルオーグリン酸含量はフォスファターゼと正の相関を示した。しかし、吉倉ら⁽³⁰⁾服部ら⁽¹⁰⁾は、有効態リン酸が高まった場合にフォスファターゼが逆に低下することを報告した。ここでは確認のために、同一土壌でリン酸含量が違う場合の酵素活性を測定した。

リン酸カルシウムの添加によって土壌のpHは僅かに上昇傾向にあり、添加したリン酸量の15~29%に相当するトルオーグリン酸の上昇がみられた(表5)。増加割合は添加したリン酸量が多いほど高い傾向であった。フォスファターゼはリン酸カルシウムの添加量が高いほど増加する傾向にあったが、グルコシダーゼとセルラーゼにはリン酸カルシウム添加の影響が認められなかった。pHに対する影響が小さかった重焼りんを添加した場合でもフォスファターゼの向上が認められ、本試験の条件内ではリン酸量が高いほどフォスファターゼも高まるということが確認された。

3) 麦稈分解率及びてん菜収量の土壌別実態とそれらと土壌微生物特性との関係

土壌中に施用された有機物を分解することは、土壌微生物の働きの主なものの一つである。本報告では、ナイロン布に包んで埋設した麦稈の分解率を圃場条件での有機物分解の指標とした。また、微生物の活性が高い土壌では、冒頭で論じたような微生物の持つ諸機能が低いレベルで発現するので作物生育にもプラスの影響を及ぼすと考えられる。ここでは、これらの現象と微生物特性の関連を検討した。

前項の結果から、土壌の種類によって微生物特性は異なるようであった。土壌による微生物特性の違いと、てん菜収量及び麦稈分解率の対応関係を理解するため、まずこれらを土壌別に比較した(表6)。生産性の指標としては、収穫期の乾物収量を用いた。また、土壌の窒素及びリン酸供給量を反映するものとして、てん菜茎葉と菜根の合計窒素並びにリン酸吸収量も検討に加えた。

麦稈分解率は、低地土、多湿黒ボク土に比べて黒ボク土で高い傾向であった。多湿黒ボク土と低地土の間には差がなかった。てん菜の乾物収量は、黒ボク土で高く、低地土で低かった。低地土には、礫質の土壌が数点含まれ、それらが平均値を下げていた。しかし、窒素吸収量には黒ボク土と低地土の両者に有意な差がなかった。低

表6. てん菜収量と麦稈分解率の土壌間差異

項 目	平均値 (変動係数)		
	黒ボク土 (n=23)	多 湿 黒ボク土 (n=16)	低 地 土 (n=14)
麦稈分解率 (%)	55 a (9)	51 b (14)	50 b (9)
てん菜収量 (t・10a ⁻¹)	5.4 (13)	5.4 (14)	5.1 (17)
乾物収量* (kg・10a ⁻¹)	1982 a (10)	1897ab(11)	1743 b (19)
窒素吸収量* (kg・10a ⁻¹)	23.0 (29)	21.3 (23)	20.8 (14)
リン酸吸収量* (kg・10a ⁻¹)	6.4ab(29)	6.1 b (23)	7.4 a (14)

*: 茎葉と菜根の合計値

表7. てん菜収量及び埋設麦稈分解率と微生物特性の関係 (相関係数)

微生物特性	てん菜 乾物重	てん菜 窒素 吸収量	てん菜 りん酸 吸収量	麦 稈 分 解 率
細菌数	0.122	0.062	-0.093	-0.199
CV耐性菌数	0.030	-0.279	0.055	-0.064
糸状菌数	0.087	0.156	-0.104	-0.159
フォスファターゼ	0.153	0.142	0.305*	-0.371**
グルコシダーゼ	0.247	0.281*	-0.023	0.088
セルラーゼ	0.198	0.297*	-0.089	-0.041
FDA	-0.129	-0.122	0.275*	-0.200
ATP	-0.099	0.041	0.173	-0.432*
バイオマス	0.080	0.132	-0.250	0.063
易分解性有機物	-0.008	0.266	0.014	-0.192

地土では窒素供給力が高いため⁽¹⁵⁾、窒素含有率が高まって、乾物量の差を相殺した。乾物量に対し、リン酸吸収量は低地土で最も高く、多湿黒ボク土との間の差は有意であった。これは低地土のリン酸吸収係数が低くトルオーグリン酸が高いことに対応する。

表7に微生物特性値と麦稈分解率などとの相関係数を示した。麦稈分解率と有意な正の相関を示す微生物特性測定法はなく、反対にフォスファターゼ、ATPは有意な負の相関を示した。それに対して、グルコシダーゼとセルラーゼはてん菜の窒素吸収量と有意な正の相関関係にあり、フォスファターゼとATPはリン酸吸収量と正の相関関係を有した。他の微生物特性測定項目とてん菜収量等との間には有意な相関が見いだされなかった。

考 察

1) 十勝の畑土壌における微生物活性の規制要因

(1) 酵素活性等の規制要因

本報告で用いた微生物特性測定法の中で、作物生産性、麦稈分解率など圃場での現象と比較的強い関連の得られた項目は酵素活性であった(表7)。そこで酵素活性を中心に、十勝地方の畑土壌における微生物活性の規制要因について検討する。

多くの微生物特性測定項目が易分解性有機物量と有意な正の相関を有する(表3)ことから伺えるように、基質量は最も重要な微生物活性の規制要因である。土壌中のほとんどの微生物は基質となる有機物を利用してエネルギーを得て、細胞の維持や増殖を行うのであるから、基質含量が高いことが高い微生物活性を有するための必要条件といえる。

また、土壌の物理性も微生物活性を規制する要因の一つである。表4の結果、土壌の通気性と関連する気相率を低下させると酵素活性が低下した。土壌に生息する細菌には嫌気性菌も含まれる。しかし、嫌氣的分解は好氣的分解に比べて得られるエネルギー量が少ないので、供給される酸素量が制約されると微生物活性も抑制されるものと理解される。

フォスファターゼとATPは土壌の有効態リン酸含量と正の相関関係にあった(表3)。既往の報告では、作物根⁽²⁵⁾及び土壌^(22, 30)のフォスファターゼ活性は、土壌の有効態リン酸が制約されている場合に高まるとされる。表3の結果がこれらと一致しなかった要因は明らかではないが、十勝地方の畑土壌では、土壌の可給態リン酸素量がある程度のレベル以上の方が、微生物のリン酸関連の代謝活性が活発化すると推定された。

以上から、十勝地方の畑土壌における微生物活性を左

右する要因は、基質量、酸素供給量であり、有効態リン酸含量が高いと、リン酸代謝が活性化されると結論された。

2) 微生物活性の土壌間差異の実態

(1) 酵素活性等の微生物特性の土壌間差異

まず、低地土と火山性土の比較を行う。細菌数、グルコシダーゼ、セルラーゼは、低地土の方が低く、バイオマスも低い傾向であった(表2)。その要因の一つとして、低地土の基質量が少ない(表1)ことがあげられる。また、低地土の気相率が多湿黒ボク土に次いで低かったこと(表1)もこれに関与する可能性がある。また、低地土では火山性土に比べてリン酸吸収係数が低く、有効態のリン酸が多い。そのため、基質量が少ないにも関わらず、リン酸代謝に関連するフォスファターゼおよびATPは多湿黒ボク土に匹敵するレベルだった(表2)。

続いて、十勝の畑土壌の大部分を占める黒ボク土と多湿黒ボク土を比較する。フォスファターゼとATPは、黒ボク土に比べ多湿黒ボク土で高かった(表2)。これは、多湿黒ボク土で基質量が高いばかりでなく、有効態リン酸も高いためである。しかし、有効態リン酸量の影響をうけないグルコシダーゼとセルラーゼには、両者に差が認められなかった。グルコシダーゼとセルラーゼは基質量の影響を強く反映すると考えられるので、多湿黒ボク土と黒ボク土に差がなかったことから、多湿黒ボク土では基質が存在しても微生物活性がそれに対応できない条件が存在すると推定される。多湿黒ボク土では、黒ボク土に比べて気相率が低く、気相率が低いと酸素活性も低下した(表4)ので、その要因は多湿黒ボク土における酸素供給の制約と考えた。

(2) 埋設麦稈分解率の土壌間差異

麦稈分解率を土壌間で比較すると、黒ボク土に比べて多湿黒ボク土で低い分解率が得られた(表6)。同一時期に調査した気相率を比較しても多湿黒ボク土の方が低かった(表1)。それ故、多湿黒ボク土は多湿条件で気相率が小さいために通気性が悪く、土壌表面から土壌中への酸素の拡散が抑制された条件にあると想定される。同一土壌で気相率を変えた場合でも、気相率が10%までは、麦稈分解率が抑制され、15%以上になると増加した(表4)。三木ら⁽²⁰⁾は、重粘質土壌を供試して気相率が12%以下になると稲わらの分解が著しく抑制されること報告した。この気相率は、表4の結果ともほぼ一致する。実態調査での物理性の調査時期は6月始めの比較的乾燥した条件で行った。それにも拘わらず多湿黒ボク土の気相率は平均で約15%であり、多湿黒ボク土では低い気相率のために酸素供給が不足して、麦稈分解率が抑制

されような場合がかなりあると推察された。

一方、同一気相率でも多湿黒ボク土の麦稈分解率は黒ボク土と比べて低かった(表4)。この要因として、多湿黒ボクで易分解性有機物含量が多いこと(表1)をあげることができる。易分解性有機物が多いことは、その分解のために多量の酸素が消費されることを意味し、この酸素消費が麦稈分解に必要な酸素消費と競合すると考えられる。多湿黒ボク土では拡散が抑制れさることと消費量が多いことがあいまって酸素の供給量が不足したと想定された。これらの結果から、多湿黒ボク土は、全体としてみれば、まだ排水改良が充分ではなく、基質が存在してもそれに対応して微生物活性が高まらない条件にあると考えられた。

3) 微生物活性と土壌の生産力の関係

てん菜は吸肥性が強く、土壌の物理的条件の影響を受け易く、通常の輪作条件では土壌病害の影響が小さい。加えて、農家の施肥が比較的平準化しているので、土壌環境の影響がよく反映される作物であると考えた。

本報告で供試した微生物特性測定法の中でグルコシダーゼとセルラーゼは、てん菜の窒素吸収量と有意な正の相関関係を示した。酵素活性が高いことは、諸論で論じたような土壌における微生物の諸機能が円滑に発現することを表していよう。それは、作物の生育にとってプラス方向に作用するはずである。また、てん菜のリン酸吸収量とフォスファターゼは有意な相関関係にあった。フォスファターゼが高いことは、土壌の有効態リン酸含量が高く、微生物、有機物の間でリン酸の移動が円滑に行われていると考えることができる。微生物、有機物の系で代謝回転するリン酸は、そこに伸長する植物根にとっても吸収利用が可能であると推定される⁽²⁾。これが、フォスファターゼとてん菜のリン酸吸収量の間に関連が生じた要因の1つであろう。

別の側面からみると、微生物活性が高い場合には、微生物特性と土壌要因の関係から明らかなように、土壌中に微生物の基質となる有機物が多く含まれることを意味する。この有機物は、微生物の活発な代謝活動によって分解されて窒素などの無機成分を生成し、それは作物に養分として供給されるはずである。また、土壌が充分好氣的に保たれることは、微生物活性が高いことの条件の1つでもある(表4)。土壌の通気性が良ければ、作物の根の呼吸作用も支障なく行われるのであろう。すなわち、土壌微生物は、その生育と活動に基質となる有機物とともに酸素やリン酸などの無機成分を必要とするので、微生物活性が高いことは、その土壌の通気性が良く、無機成分の含量も充分であることを示す。そのような条

件を具備した土壌は、作物根にとってもよい環境である。このことから、適切な微生物活性を、土壌の総合根圏環境指標として用いることができる可能性があることが示唆される。本報告で供試した微生物特性測定項目のなかで、土壌酵素活性は作物の窒素吸収量、土壌の基質含量と比較的良好な対応関係を示した。土壌酵素活性は測定が簡便なこともあり、土壌微生物活性の測定法として適切な手法であろう。

また、表2に示したバイオマスやフォスファターゼの値は、既往の報告よりも低い値であった。そのことは、十勝の畑土壌では微生物活性がなんらかの要因により一般に低いレベルに留まっていることを示唆する。また、微生物活性が比較的低い系であるが故に、微生物活性と作物生産性の関連が得られた可能性もあろう。

土壌の微生物活性の診断については、現場段階で漠然とした期待感があるものの、具体的な目的や、手法面は必ずしも明確でないのが現状であろう。本稿で明らかにしたように、土壌微生物の活性は基質となる有機物の存在と、基質を分解するための環境条件に影響されていた。これまでに論議したように、これらの条件は作物生育にも密接に関連するので、微生物活性の測定が土壌生産力の一つの側面を表す指標に成り得ると考えた。

謝辞 本稿をとりまとめるにあたり、十勝農業試験場成田秀雄場長、環境化学部沢口正利部長、同農産化学部木村清部長には懇切なご指導とご校閲を頂いた。これらの方々に深く感謝します。

文 献

- 1) Allison, F.E. "A source of inorganic nutrients and microbial food". Soil organic matter and its role in crop production. Developments in Soil Science. vol. 3. New York, Elsevier Press, 1973, p. 277-300.
- 2) Anderson, T.-H.; Domsch, K.H. "Ratio of microbial biomass to total organic carbon in arable soils". Soil Biol. Biochem. 21, 171-179 (1989).
- 3) Babiuk, L.A.; Paul, L.A. "The use of fluorescein isothiocyanate in the determination of the bacterial biomass of grassland soil". Can. J. Microb. 16, 57-62 (1970).
- 4) Barea, J.M.; Brown, M.E. "Effects on plant growth produced by *Azotobacter paspali* related to synthesis of plant growth regulating substances". J. Appl. Bacteriol. 37, 583-593 (1974).
- 5) Barea, J.M.; Navarro, E.; Montoya, E. "Production

- of plant growth regulators by rhizosphere phosphate-solubilizing bacteria". *J. Appl. Bacteriol.* 40, 129-134 (1976).
- 6) Bond, R.D.; Harris, J.R. "The influence of the microflora on the physical properties of soils. 1. Effects associated with filamentous algae and fungi. *Aust. J. Soil. J. Soil Research.* 2, 111-122 (1964).
- 7) 土壌微生物研究会. "土壌微生物実験法 培地および特殊培地の組成と作り方". 養賢堂, 1992, p. 379-397.
- 8) 藤井義晴, 安田環, 渋谷知子. "無影日長栽培法と階段栽培法によるトマトの他感作用の検証". *日土肥誌.* 62, 150-155 (1991).
- 9) Griffiths, E.; Jones, D. "Microbial aspects of soils tructure. I. Relationships between organic amendments, microbial colonization, and changes in aggregate stability". *Plant and Soil.* 23, 17-33 (1965).
- 10) 服部浩之. "土壌のフォスファターゼ活性と可溶性リン". *土肥要旨集.* 34, 57 (1989).
- 11) Hayano, K. "A method for the determination of β -glucosidase activity in soil. *Soil Sci. Plant Nutr.* 19, 103-108 (1973).
- 12) Higashida, S.; Takao, K. "Seasonal fluctuation patterns of microbial numbers in the surface soil of a grassland". *Soil Sci. Plant Nutr.* 31, 113-121 (1985).
- 13) Higashida, S.; Takao, K. "Relations between soil microbial activity and soil properties in grassland". *Soil Sci. Plant Nutr.* 32, 587-597 (1986).
- 14) 東田修司, 藤原伸介, 原田靖生. "十勝地方の土壌での有機リン酸加水分解酵素活性とその向上". *北農.* 57, 333-432 (1990).
- 15) 北海道立中央農試, 北海道立十勝農試, 北海道立北見農試, ホクレン. "熱水抽出性窒素によるてん菜及び馬鈴しょ畑の土壌診断". 北海道農業試験会議資料. (1990).
- 16) Jenkinson, D.S.; Powlson, D.S. "The effects of biocidal treatments on metabolism in soil. I. Fumigation with chloroform". *Soil Biol. Biochem.* 8, 167-177 (1976).
- 17) 菊地晃二. "十勝地方における土壌類型区分図とその土壌改良対策への応用". 北海道立農業試験場報告. 34, 1-98 (1971).
- 18) 駒田旦. "有機物と土壌病害". *土と微生物.* 26, 13-20 (1984).
- 19) 松田明, 尾崎克己, 下長根鴻, 渡辺文吉郎. "土壌中におけるフザリウム菌の発芽について". *土と微生物.* 9, 30-40 (1967).
- 20) 三木和夫, 森哲朗. "新鮮有機物の分解に及ぼす土壌水分・空気の影響". 東海近畿農業試験場研究報告. 17, 59-66 (1968).
- 21) 西尾道徳. "土壌微生物によるリンの有効利用". *研究ジャーナル.* 10, 46-53 (1987).
- 22) 大橋恭一. "おがくず入り牛ふん厩肥連用に伴う土壌リン酸とフォスフォモノエステラーゼ活性の変動". *日土肥誌.* 58, 144-146 (1987).
- 23) 関谷長昭. "北海道十勝地方に分布する土壌型の微生物相について". *ペドロジスト.* 18, 72-86 (1974).
- 24) Schnürer, J.; Rosswall, J. "Fluorescein diacetate hydrolysis as a measure of total microbial activity in soil and litter". *Appl. Environ. Microb.* 43, 1256-1261 (1982).
- 25) Tadano, T.; Sakai, H. "Secretion of acid phosphatase by the roots of several crop species under phosphorus-deficient conditions". *Soil Sci. Plant Nutr.* 37, 129-140 (1991).
- 26) 田村元, 東田修司, 沢口正利. "淡色黒ボク土の有機物管理が土壌微生物性におよぼす影響". *日土肥要旨集.* 37, 240 (1991).
- 27) Vance E.; Brookes P.C.; Jenkinson D.S. "An extraction method for measuring soil microbial biomass C". *Soil Biol. Biochem.* 19, 703-707 (1987).
- 28) 安田環, 渋谷知子, 藤井義晴. "階段栽培法によるシロザの他感作用の検証". *日土肥誌.* 62, 252-257 (1991).
- 29) 吉田富男, 坂井弘. "北海道における各種土壌の微生物学的研究 第1報 各種土壌の微生物相とその作用". 北海道農業試験場彙報. 76, 36-44 (1962).
- 30) 吉倉惇一郎, 二見敬三, 藤井浩. "りん酸含量を異にする土壌におけるりん酸の無機化に関与する土壌酵素について". *近畿中国農研.* 67, 24-28 (1984).
- 31) Yu, J.Q.; Lee, K.S.; Matsui Y. "Effect of the addition of activated charcoal to the nutrient solution on the growth of tomato in hydroponic culture". *Soil Sci. Plant Nutr.* 39, 13-22 (1993).

Microbial Activities in Upland Fields and Factors Relating Them

Shuji HIGASHIDA, Hajime TAMURA and Masahiro YAMAGAMI

Summary

Soil microbial processes were significantly related soil fertility. Thus, microbes impart an important role in the cycling of nutrient and making soil structure. Objectives of this experiment were to survey some microbial measures such as colony forming units, enzyme activities and biomass in the upland fields of the central Tokachi area and to discuss their relations to soil characters and crop yields.

The volumes of soil biomass and phosphatase activities obtained in the Tokachi area seem to be lower than those in current literatures. The factors which restrict microbial activities were estimated to be the supply of substrate and air. There were significant positive correlations between microbial measures employed in this experiment and measures which represent substrate level in soil. Microbial measures related to phosphorus metabolism increased with increase of available phosphorus in soils. Although wet andosols contained high microbial substrate, their microbial activities were not significantly different from that of light colored andosols. Decomposition rate of oat straw in field conditions was also low in wet andosols than light colored andosols. Therefore, decomposition of straw, as well as activities of soil enzyme, was restricted in both type of andosols, when air phase of soil was below 10%. Volume of air phase must affect oxygen content of air phase. The results show that microbial activities in wet andosols had not increased with the substrate level because of the insufficient supply of oxygen. Thus, low microbial activities resulted in an accumulation of organic substrates in wet andosols.

Activities of β -glucosidase and cellulase showed significant positive correlation with dry matter and nitrogen accumulated by sugar beets, and a correlation between phosphatase activities and phosphate accumulation of sugar beets was also significant. These correlations were acceptable, because content of organic matter and supply of oxygen affect the crop productivity as well as microbial activity. These data suggest a microbial activity can be a criterion of environmental condition of soil.