琉球大学学術リポジトリ

沖縄における畑土壌の微生物的性質　１．土壌型と微生物相

メタデータ	言語: 出版者: 沖縄農業研究会 公開日: 2009-01-29 キーワード (Ja): 土壌, 微生物相, 土壌型, 国頭マージ, 島尻マージ, ジャーガル キーワード (En): 作成者: 外間, 数男, Hokama, Kazuo メールアドレス: 所属:
URL	http://hdl.handle.net/20.500.12000/0002015495

沖縄における畑土壌の微生物的性質
1．土壌型と微生物相

外　間　数　男
（沖縄県病害虫防除所）

Kazuo HOKAMA : Microbial properties in the field soils in Okinawa.
1．Soil type and soil microflora.

はじめに

沖縄県の土壌を分類する言葉として，ジャーガルや島尻マージ，国頭マージなどが古来より現在まで広く用いられてきた．この言葉は地方語であるが，土壌の特徴をよく表し，土壌生成分類学的にも極めて優れたものであるといわれ[12) 13)]，試験研究上や農業の生産現場では土壌の分類用語として定着している．この3種類が本県における代表的な土壌であり，全耕地面積の9割を占めている[13)]．本報でもこれらの言葉を土壌型を表す用語として用いた．

3土壌型の物理性や化学性については詳細な調査研究がなされている．鴨下らは沖縄県に分布する土壌を5つの土壌型に分類し，化学的性質を明らかにした．また川島や平野は土壌の理化学性や粘土組成について研究し，古くから県内で用いられている土壌の俗称を土壌型として用いるべきとしている．戦後，アメリカや日本政府琉球技術援助の一環として，県内各地の土壌調査が行われ，土壌統の設定や土壌図が作成された．また地力保全基本調査事業等により詳細な土壌図の作成と特性が明らかにされた[2) 11)]．しかしその殆どが物理性や化学性を中心としたものであり，微生物性についての調査研究は極めて少ない．

土壌の構成要素として，物理性や化学性とともに微生物性も無視することはできない．土壌を微生物的側面から眺め，土壌の性質を理解することは土壌の物質変化や化学的活性，有機物の分解過程，肥沃度，土壌病害虫の発生の特異性等を知る上で重要である[9)]．今回，県内に広く分布する3土壌型の微生物性について検討したので，その概要を報告する．

本研究を行うに当たり，土壌のサンプリング及び調査に協力していただいた沖縄県農業試験場園芸支場の各位に対し感謝の意を表する．

材料及び方法

1．供試土壌

土壌の採取は図1に示す地点で，1991年10月から92年2月にかけて行った．調査圃場はすべて農耕地と

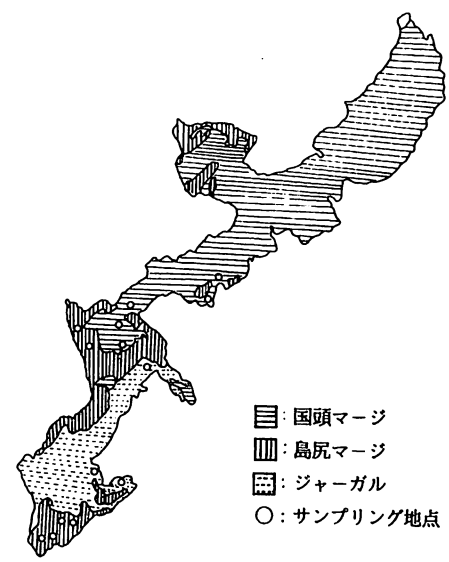

図1．沖縄本島の土壌分布とサンプリング地点
鎮西・大屋・古謝「琉球の土壌と土地利用」より，古生界の変成堆積を国頭マージ，石灰岩を島尻マージ，灰色粘土をジャーガルとした．

し，国頭マージは石川市及び沖縄市，金武町から37点（野菜・花き21地点，サトウキビ16点），島尻マージは糸満市，読谷村，具志頭村から39点（野菜・花き23地

点，サトウキビ16地点)，ジャーガルは具志川市，佐敷町，知念村から51点（野菜・花き36点，サトウキビ15点）をそれぞれ採取した．土壌の採取には移植ごてを用い，圃場内数ヵ所からランダムに株間の表層下10cm以内を採取した．採取した土壌はポリエチレンビニール袋に入れ，速やかに室内に持ち込み，有機物や礫を取り除き，5mm以下に粉砕したあと十分に混和した．採取後は低温条件下（5℃前後）で保存したが，10日以内には分離に供した．調査圃場は野菜・花き畑が生育中期以降から収穫期を対象とし，サトウキビ畑は前年植付けの夏植圃場とした．

土壌のpHはガラス電極法によって測定し，土壌水分は70℃，24時間乾燥後の土壌を秤量し含水比で表した．また土性は土壌の指感触で大まかに分類し，代表的な性質を表中に記した．

2．微生物の分離

微生物の分離は希釈平板法で行った．供試土壌を20g秤量し，180mlの滅菌水の入った300ml容三角フラスコに入れ，往復振とう機で10分間振とうした．2次希釈段階までは振とう機を用い，それ以降はハンドシェイクで希釈した．最終段階まで希釈した後，シャーレーに1ml摘下し，寒天培地を流し込んだ．分離培地として，細菌及び放線菌はアルブミン寒天培地[3]，本培地にクリスタルバイオレットを30mg／ℓ添加してグラム陰性菌用培地とした．糸状菌はローズベンガル寒天培地[3]を用いた．全細菌及び放線菌，グラム陰性菌は25℃，5日間，糸状菌は28℃，7日間培養した後出現コロニーをカウントし，乾土g当りに換算した．

3．土壌型別精密実験圃場における微生物相

供試土壌は農業試験場園芸支場内の土壌型別精密実験圃場で栽培されているヘリコニア及びキク畑から採取した．ヘリコニアは1988年12月及びキクは1991年10月に定植され，ヘリコニアは株際，キクは採花後の株間から1992年2月に土壌を採取し微生物分離に供した．微生物分離は希釈平板法で行い，詳細は上述の通りとした．

結　果

1．土壌型と微生物数

供試土壌の性質は表1に示すように，国頭マージは

表1．供試土壌の性質

土壌型	栽　植	調査圃場数	pH (H_2O)	水　分 (含水比)	土　性
国頭マージ	野菜・花き	21	5.62 (3.7～6.8)	9.9 (4.7～23.0)	SL～CL
	サトウキビ	16	5.45 (3.5～6.9)	10.5 (6.7～16.3)	L～CL
島尻マージ	野菜・花き	23	6.45 (4.1～7.8)	13.1 (12.0～17.3)	SL～CL
	サトウキビ	16	6.70 (5.8～7.7)	14.6 (10.0～19.3)	L～CL
ジャーガル	野菜・花き	36	7.36 (6.8～7.7)	14.7 (10.0～18.7)	L～C
	サトウキビ	15	7.42 (7.2～7.7)	15.3 (13.3～17.3)	CL～C

（　）：最小値～最大値

表2．土壌型別の微生物数　　(No./乾土g)

土壌型	栽　植	細菌数 (TB)×10^5	グラム陰性菌 (DB)×10^5	放線菌 (A)×10^5	糸状菌 (F)×10^4
国頭マージ	野菜・花き(21)	162.6± 66.5[a]	44.6±37.0	47.9±28.2	29.2±22.4
	サトウキビ(16)	138.3± 52.2	45.7±31.7	32.0±17.2	27.5±15.1
島尻マージ	野菜・花き(23)	177.7±133.1	40.0±70.1	42.7±24.8	11.8± 6.6
	サトウキビ(16)	164.5± 85.6	33.8±14.2	54.0±21.3	11.7± 6.4
ジャーガル	野菜・花き(36)	607.7±361.2	87.3±93.7	117.4±91.1	19.6±24.9
	サトウキビ(15)	560.6±576.4	70.0±31.2	98.9±41.8	20.1±23.8

a）平均値±SD，（　）：調査圃場数

強酸性から微酸性を呈し，大部分が強酸性土壌に入り，島尻マージは酸性からアルカリ性まで，幅広いpHの値を示したが，大部分が中性土壌に属した．またジャーガルは中性からアルカリ性と範囲は狭かった．また微生物分離時の含水比は国頭マージで低く，ジャーガルで高かった．

土壌型別の野菜・花き畑とサトウキビ畑土壌における微生物数は表2に示した．細菌数はジャーガルで最も多く，野菜・花き畑では608×10^5，サトウキビ畑は561×10^5，国頭マージの163×10^5と138×10^5，島尻マージの178×10^5と165×10^5に比べ3倍以上に達した．国頭マージと島尻マージには大差はないが，島尻マージでやや多かった．またグラム陰性菌数はジャーガルで最も多く，野菜・花き畑が87×10^5，サトウキビ畑では70×10^5となり，国頭マージの45×10^5，46×10^5，島尻マージの40×10^5，34×10^5に比べ2倍近い値を示した．放線菌数もジャーガルで最も多く，野菜・花き畑では117×10^5，サトウキビ畑で99×10^5となり，国頭マージの48×10^5，32×10^5，島尻マージの43×10^5，54×10^5に比べ2倍近くになっている．グラム陰性菌数や放線菌数は国頭マージとの間に差がなかった．糸状菌数は国頭マージで多く，野菜・花き畑では29×10^4，サトウキビ畑で28×10^4となり，ジャーガルはいずれも20×10^4，島尻マージもそれぞれ12×10^4であった．

2．微生物相間の比率

表2に示す土壌型別微生物数を，それぞれの微生物相間で対比し表したのが表3である．細菌数／グラム陰性菌数の値はジャーガルが他の土壌型に比べて高く，野菜・花き畑では6.96の値を示し，国頭マージは3.65であった．国頭マージはグラム陰性菌数が相対的に多く，ジャーガルは少ない土壌である．また細菌数／放線菌数の値はジャーガルで高く，国頭マージは低い．国頭マージは放線菌数の相対的割合の高い土壌であるのに対し，ジャーガルは低い土壌である．細菌数／糸状菌数の値はジャーガルで高く，野菜・花き畑では310に達するが，国頭マージは56と極めて低い．国頭マージは糸状菌数が相対的に多い土壌であり，ジャーガルは少ない土壌である．グラム陰性菌数／放線菌数の値は各土壌型とも1前後であり，土壌型間の差もなかった．グラム陰性菌数／糸状菌数の値はジャーガルで高く，国頭マージで低く，また放線菌数／糸状菌数の値はジャーガル，島尻マージで高く，国頭マージは低い．国頭マージは糸状菌数が相対的に多い土壌であることは上記と同じである．

3．各土壌型における作物別の微生物数

表2の土壌型別野菜・花き畑の微生物を作物別にみると表4の通りになる．国頭マージは栽培作物の種類間で微生物数に大差はないが，キク畑は細菌数やグラム陰性菌数，糸状菌数が多く，放線菌数はマメ科作物で多い．島尻マージでは細菌数がニンジン畑やウリ科野菜畑で多く，グラム陰性菌はニンジン畑で多い．放線菌数はウリ科畑，糸状菌数はアブラナ科で多く，ダイコン畑は糸状菌を除いて全て少なかった．またジャーガルではいずれの微生物数もマメ科で多く，他作物に

表3．各土壌型における微生物相間の比率

土壌型	栽　植	TB／DB	TB／A	TB／F	DB／A	DB／F	A／F
国頭マージ	野菜・花き	3.65	3.39	55.7	0.93	15.3	16.4
	サトウキビ	3.03	4.32	50.3	1.43	16.6	11.6
島尻マージ	野菜・花き	4.44	4.16	150.6	0.94	33.9	36.2
	サトウキビ	4.87	3.05	140.6	0.63	28.9	46.2
ジャーガル	野菜・花き	6.96	5.18	310.1	0.74	44.5	59.9
	サトウキビ	8.01	5.67	278.9	0.71	34.8	49.2

表4．各土壌型における栽培作物別微生物数　(No./乾土g)

土壌型	栽培作物	細菌数 ×10⁵	グラム陰性菌 ×10⁵	放線菌 ×10⁵	糸状菌 ×10⁴
国頭マージ	ウリ科(7)	175.1 (122～305)	47.1 (10～123)	47.0 (19～84)	20.9 (11～49)
	マメ科(2)	168.3 (150～187)	44.0 (52～36)	101.7 (144～60)	14.8 (11～19)
	ナス科(1)	182.4	8.9	67.2	53.6
	キク(2)	197.7 (150～246)	57.7 (24～91)	48.2 (31～66)	54.0 (8～100)
	サトイモ(2)	154.9 (99～210)	34.8 (24～45)	45.8 (42～50)	25.8 (22～29)
	サツマイモ(7)	137.6 (58～269)	46.4 (5～130)	31.3 (14～47)	32.2 (15～35)
島尻マージ	ウリ科(6)	264.2 (140～598)	38.6 (21～60)	63.3 (26～110)	14.1 (4～23)
	マメ科(1)	154.4	36.0	46.5	7.9
	アブラナ科(2)	188.7 (146～232)	50.5 (49～52)	33.3 (32～35)	19.3 (19～20)
	ダイコン(3)	69.4 (32～115)	10.2 (2～24)	26.1 (9～43)	9.1 (4～15)
	ニンジン(3)	284.5 (162～453)	95.6 (23～235)	47.8 (19～72)	9.1 (4～12)
	サツマイモ(8)	1000.9 (50～160)	28.6 (3～54)	33.3 (11～54)	11.8 (4～20)
ジャーガル	ウリ科(6)	610.5 (515～ 924)	70.5 (37～117)	103.4 (76～146)	10.7 (8～12)
	マメ科(5)	1065.2 (439～2407)	182.3 (34～618)	228.2 (82～595)	45.1 (8～153)
	オクラ(18)	514.4 (337～ 840)	77.1 (21～121)	95.3 (61～220)	14.9 (4～38)
	サツマイモ(7)	518.5 (312～1169)	60.0 (23～89)	106.7 (61～237)	18.4 (8～62)

栽培作物の(　)内は調査圃場数、微生物数の(　)内は最小値と最大値を示す

比べて2倍以上の値を示した．

作物別の土壌型間比較は作物の種類や調査圃場数が異なるため困難であるが，比較的栽培の共通するウリ科とサツマイモについてみると，細菌数はウリ科とサツマイモのいずれでもジャーガルで多く，国頭マージや島尻マージの2倍以上に達する．またグラム陰性菌数や放線菌数もジャーガルで多く，国頭マージ及び島尻マージで少ない．国頭マージと島尻マージの間にはいずれも大差がなかった．しかし，糸状菌数は国頭マージで多く，ほぼ2倍に達する．ジャーガルのサツマイモ畑では島尻マージのそれに比べ多かったが，ウリ科では大差がなかった．

糸状菌数は土壌型間の差がなかった．またいずれの土壌型でも，キク畑は細菌数やグラム陰性菌数，放線菌数がヘリコニアや未耕作地より多いが，糸状菌数には差がなかった．

土壌型別に糸状菌の分離頻度をみると（表6），いずれの土壌型でもPenicillium属菌とAspergilus属菌の分離頻度が高く，両属菌で分離菌の半数以上を占め，島尻マージの耕地土壌では80%以上に達した．島尻マージやジャーガルではAspergilus属菌の分離頻度が高かったが，国頭マージはキク畑でPenicillium属菌，未耕地ではAspergilus属菌の分離頻度が高かった．

この両菌に比べ他の糸状菌の分離頻度は低く，島尻

4．土壌型別精密実験圃場における微生物相

精密実験圃場における微生物数は表5に示した．

土壌型別にみると，キクやヘリコニアの細菌数，グラム陰性菌数はジャーガルで多かったが，国頭マージや島尻マージの間には大差がなかった．放線菌数や

表5．精密圃場における土壌型と微生物数　(No./乾土g)

土壌型	栽　植	細菌数 ×10⁶	グラム陰性菌 ×10⁶	放線菌 ×10⁶	糸状菌 ×10⁴
国頭マージ	キク	53.5	15.1	12.8	6.0
	ヘリコニア	40.8	7.0	6.6	9.5
	未耕地	23.1	4.8	5.1	8.8
島尻マージ	キク	54.4	10.3	13.1	7.9
	ヘリコニア	34.0	8.6	5.5	5.5
	未耕地	25.6	3.6	4.4	10.4
ジャーガル	キク	91.6	31.5	15.7	3.8
	ヘリコニア	82.5	24.3	4.9	5.7
	未耕地	38.8	12.3	5.3	4.5

表6．キク畑及び未耕地における土壌型別糸状菌の分離頻度

糸状菌種類	国頭マージ		島尻マージ		ジャーガル	
	耕　地	未耕地	耕　地	未耕地	耕　地	未耕地
調査菌株数	29	40	27	29	13	30
Penicilium属菌	41.4	12.5	37.0	13.8	15.4	6.7
Aspergilus属菌	24.1	30.0	44.5	48.3	30.8	53.3
Trichoderma属菌	10.3	5.0	0	0	0	0
Fusarium属菌	6.9	10.0	0	3.4	7.6	3.3
未同定－胞子形成	13.8	27.5	7.4	10.3	23.1	13.3
未同定－胞子未形成	3.5	15.0	11.1	24.2	23.1	23.4

マージやジャーガルでは10^4希釈段階でTrichoderma属菌は検出されなかった．

考　察

沖縄県に分布する主要な土壌型として，国頭マージや島尻マージ，ジャーガルと称される3種類が挙げられる．この言葉は地方語であるが，土壌の特徴を表すに妥当な名称であるとして高く評価されており，本報でもこの言葉を用いた．この3土壌型は物理性や化学性，土壌構造などに著しい違いがみられる．国頭マージは塩基類の過度の溶脱により強酸性を呈し，有機物含量が乏しく，表土の物理性は良好であるが，下層は構造の発達が弱く，固相が大きいため，通気性，透水性が悪い．島尻マージは表土の構造が良く発達しているが，保水力が弱く，乾燥しやすい．また下層土は緻密で気相，透水性が悪く，耕土が浅いため干ばつの影響を受けやすい．ジャーガルは石灰質未熟土ともいわれ，母材の性質を強く残し，土壌構造の発達が不十分で単粒構造をつくりやすい．また粗孔隙は乏しく，通気性，透水性が悪いが，細粒質で微細な孔隙が多いので，保水性は強い[2)11)12)]．この様に各土壌型は物理性や化学性に大きな違いがみられ，土壌の微生物相もそれぞれ特徴ある生態系をなしているものと思われる．

土壌の種類と微生物フロラについて，Mishustinは土壌が固有の微生物フロラを持つことを報告し，石沢ら[5)]，石沢・豊田[6)7)]は火山灰土壌と非火山灰土壌や畑土壌と水田土壌の微生物的比較を行い，また蘭・石沢[1)]は放線菌フロラとの関連を通して，微生物面から土壌の特徴づけを行った．吉田・坂井[16)]は北海道における各種土壌の微生物的特徴を明らかにした．土壌は母材が同じでも，利用形態や管理の違いで微生物フロラは異なるが，固有の微生物フロラを持つといわれる[5)]．

沖縄に分布する3土壌型は，ジャーガルが細菌数やグラム陰性菌数，放線菌数の顕著な土壌であり，国頭マージは糸状菌数の多いことで特徴づけられる．このことは前報[4)]とほぼ同じ傾向であり，諸見里[10)]もジャーガルで細菌，国頭マージで糸状菌の多いことを土壌pHとの関連で報告している．細菌は土壌構造，特に水分保持力と孔隙率に密接な関連があり，土壌の水分含量は細菌の制限要因になり，重力水の存在下では細菌が優勢になるといわれる[15)]．ジャーガルに微生物数の多いことは土壌がアルカリ性であること，土壌構造の発達が不十分で，保水性の強いことも一因になると考えられる．また細菌数の多い土壌は肥沃であるといわれ[14)]，ジャーガルは微生物相の面からも肥沃度の高い土壌であるといえる．また酸性土壌では糸状菌数が多くなり，低水分条件では糸状菌や放線菌が優勢になることから[5)9)]，国頭マージは含水比の低いことも糸状菌数に影響したものと思われる．

微生物数の量的比較だけでは土壌の特徴づけが難しく，各菌群の相対的な比率を表すことでより明白になるとして，石沢ら[5)]，石沢・豊田[6)7)]は細菌，放線菌，

糸状菌数の相対的割合で火山性土壌と非火山性土壌の違いを検討し，細菌数と放線数の割合で両者を判別できるとした．また加藤・鈴木[8]は細菌数／糸状菌数（B／F値）は土壌で特徴ある値を示すとし，土壌微生物性の指標になり得ることを報告している．今回の調査から，国頭マージは細菌数／グラム陰性菌数，細菌数／放線菌数，細菌数／糸状菌数，グラム陰性菌数／糸状菌数，放線菌数／糸状菌数の比率が3土壌型の中ですべて低いことが特徴的であった．これに対し，ジャーガルは比率がすべて高く，国頭マージとジャーガルは全く相反した微生物的性質を持つものと考えられる．島尻マージは両者の中間に位置する．今回得られた値はサトウキビ畑や野菜・花き畑土壌のいずれでも同じであったことから，これらの数値は3土壌型を比較する指標になりうるものと思われる．

土壌は熟畑化するにつれて微生物相は多様になり量的にも増加する[14]．果菜類やマメ類，キク畑などは耕起が頻繁に行われ，肥料や有機物の投入も多く，熟畑化が進んだことにより微生物数が多くなった一因と考えられる．

土壌型別の糸状菌の分離頻度は，いずれの土壌型でもPenicillium属菌とAspergilus属菌が高く，島尻マージやジャーガルではAspergilus属菌，国頭マージはキク畑でPenicillium属菌，未耕地ではAspergilus属菌が優先種であった．これは諸見里[10]の報告とおおむね一致するが，国頭マージではAspergillusの分離が見られないことが異なる．ジャーガルではいずれもTrichodermaが分離されていないが，その原因は不明である．

沖縄は周年温暖であるため土壌微生物の活動が盛んで，有機物の分解が極めて早い．夏期に粗大有機物を施用しても短期間に消滅し，腐植の蓄積が少く，土壌の腐植含量はいずれの土壌も表層土で2％前後である．土壌の有機物や腐植は微生物の活性や保水性を高めることから重要である．土壌の物理・化学性とともに，微生物的性質が明らかにされることにより，土壌型別の管理技術や病害虫の防除が的確に行われるものと思われる．

摘 要

ジャーガルは細菌数およびグラム陰性菌数，放線菌数が最も多く，国頭マージや島尻マージの2倍近くあり，細菌数は3倍以上に達した．糸状菌数は国頭マージで多く，ジャーガルや島尻マージの2倍近くあった．

各微生物相間の比率をみると，国頭マージは細菌数／グラム陰性菌数，細菌数／放線菌数，細菌数／糸状菌数，グラム陰性菌数／糸状菌数，放線菌数／糸状菌数の比率が3土壌型の中ですべて低く，ジャーガルはすべて高かった．ジャーガルと国頭マージは全く相反する微生物的性質を持ち，島尻マージは両者の中間に位置した．

栽培作物の種類別微生物数は国頭マージで大差がないが，島尻マージでは細菌数やグラム陰性菌数がニンジン畑やキュウリ畑で多く，放線菌数はキュウリ畑，糸状菌数はアブラナ科で多くなった．ジャーガルではいずれの微生物もマメ科で多かった．

土壌型別精密実験圃場では，ジャーガルの細菌数やグラム陰性菌数が最も多かったが，放線菌数や糸状菌数には土壌型間の差がなかった．いずれの土壌型でも，キク畑は細菌数やグラム陰性菌数，放線菌数がヘリコニアや未耕作地より多いが，糸状菌数には差がなかった．

糸状菌の分離頻度は，いずれの土壌型でもAspergilus属菌とPenicillium属菌が高く，分離菌の半数以上を占めた．島尻マージやジャーガルではAspergilus属菌，国頭マージはキク畑でPenicillium属菌，未耕地ではAspergilus属菌の分離頻度が高かった．

引用文献

1）蘭道生・石沢修一（1972）本邦土壌の放線菌のフロラに関する研究，農業技術研究所報告B−22，147−248.

2）鎮西忠茂・大屋一弘・古謝瑞幸（1967）琉球の土壌と土地利用，琉球大学農学部農芸化学科，pp186.

3）土壌微生物研究会編（1975）土壌微生物実験法，養賢堂，東京，431−434.

4）外間数男（1976）沖縄における土壌型と微生物フロラ．土壌肥料学会講演要旨集 22
5）石沢修一・鈴木達彦・甲田知則・佐藤　修（1958）土壌の微生物とその作用に関する研究，農業技術研究所報告 B－8，1～211.
6）石沢修一・豊田広三（1964）本邦土壌の微生物フロラに関する研究，農業技術研究所報告 B－14，204－284.
7）石沢修一・豊田広三（1964）日本土壌のミクロフローラ，微生物の生態，東京大学応用微生物研究所シンポジウム第 2 集：163－193.
8）加藤邦彦・鈴木達彦（1977）各種土壌の B／F 値（細菌数／糸状菌数）について，土と微生物 19,1－4.
9）菅野一郎監訳（1972）V．R．ヴォロブエフ「土壌の生態学」たたら書房，41－50.
10）諸見里善一（1993）土壌微生物と土壌病害，沖縄農業 28 巻，87－94.
11）松坂泰明・音羽道三・山田裕・浜崎忠雄（1971）沖縄本島・久米島の土壌の分類について，農業技術研究所報告 B－22，305－397.
12）永塚鎮男・石原　暁（1985）土壌の生成と分布，土壌の理化学性と地力，熱帯農研集報 51:14－26
13）大城喜信・浜川　謙（1980）よみがえれ土－沖縄の土壌とその改良－．新報出版．pp208.
14）鈴木達彦・石沢修一（1965）畑土壌の微生物およびその活性と肥沃度，農業技術研究所報告　B－15 92－179.
15）田中　博（1974）土壌細菌数と土壌水分ポテンシャル（土壌水分吸引力，pF，Bar）の関係，土と微生物，16，70－76.
16）吉田富夫・坂井　弘（1963）土壌の水分環境と微生物相について．日本土壌肥料学雑誌　34－5，155－160.