

5章 病虫害の被害解析

1. はじめに

前章では、慣行園と簡単な比較を行ないながら、省農薬園の病虫害発生状況について記述した。我々が、実施してきた、年一度の冬季マシン油乳剤散布という省農薬栽培においても、ミカンの栽培が不可能になる水準までには病虫害が大発生しないことが明らかになった。とくに、ヤノネカイガラムシに対する導入寄生蜂が定着しその効果があらわれてからは、マシン油乳剤散布も不要になり、よりいっそうの省農薬化が可能になることが示された。しかし、慣行栽培との比較のうえで省農薬栽培を評価するためには、各病虫害がどの程度ミカンに被害をもたらしているかについてより詳細に検討しなければならない。

本章では、省農薬園において病虫害がもたらした被害、おもに果実の収量と株の枯死頻度への影響について解析する。まず、主要な害虫である、ヤノネカイガラムシ、ルビーロウムシ、ツノロウムシおよびそうか病の発生量と、調査期間を通じた収穫果実数の関係について重回帰分析を行なった。しかし、2章でも述べたように、我々が調査を行なった省農薬園には、柑橘の栽培にとって不適であると考えられる土壌が分布している場所が含まれていた。土壌が果実数に与える影響を、病虫害の効果と分けて考えるために、重回帰分析には、病虫害についての4変数に加えて、2章の土壌分析の結果からもとめられた土壌の特性をあらわす3種の主成分スコアを変数として加えた。次に、果実数と強い相関のあった土壌の主成分スコアを基準に、省農薬園の場所を区分けして、それぞれの場所での病虫害の発生とその被害状況、果実収量などを検討した。とくに、土壌の分布と幼木の定着不良、ヤノネカイガラムシの食害、ルビーロウムシの食害、ゴマダラカミキリの食害による枯死株の分布の関連について着目した。最後に、土壌主成分スコアが「肥沃」であることを示し、一般の柑橘栽培に使われるような立地条件をもった部分における平均収穫果実量を算出して、慣行園の平均的な収量と比較した。雑草がミカンに与える影響については不明瞭な点が多いので(4章)、ここでの被害解析からは雑草の発生量については考慮しなかった。

2. 調査方法

(1) 収穫果実数と果実重の測定

前章の方法(2)で示した11月の病虫害に関するグレイド調査の際に、その時点で成熟している果実

を株ごとに計数して記録した。この調査では、果実が50個以下の株では全数調査を行なうため測定測定数と実数の誤差はないが、約50個以上の果実をもつ株については果実を10個単位にして読みとるため一定の測定誤差が生じる。そこでこの測定誤差の程度を調べてグレイド調査時に得られた果実数の測定値を補正するために、1994年11月に全調査木からランダムに選んだ46株について果実の全数調査を行なった。ここで得られた果実数 (y) と、直前のグレイド調査時の測定果実数 (x) との間にはばらつきの小さい単回帰関係 ($y=1.262x$, $R^2=0.965$, $F=1230$, $p<0.0001$, 二者の関係は原点を通る回帰直線になるものと仮定し切片を0とした) が認められたので、この回帰式にもとづいて、各年11月のグレイド調査で得られた果実数を補正して実際の収穫果実数とした。すなわち、各グレイド調査時に果実数が51個以上と測定された株については、その果実数に1.262を乗じたものをその年のその株の収穫果実数とした。なお、これらの調査では、病害がひどい、着色が極端におそい、極端に小さいなどの理由で、収穫されない果実は除外した。

また、1983年に300個、87年と91年にそれぞれ100個、任意に選んだ果実の重さを計測して、果実の平均重量を計算した。

(2) 株ごとの果実収量を決定する要因についての重回帰分析

省農薬園の収穫果実数と、病虫害の平均密度および土壌の特性を示す指標との間の関係を、次に示す重回帰式をモデルとして重回帰分析を行なった。

$$y = a_1x_1 + a_2x_2 + \dots + a_7x_7 \quad (\text{式5-1})$$

ただし、

y; 各株の12年間の年あたり平均収穫果実数

x_1 ; 各株の12年間の平均ヤノネカイガラムシ密度

x_2 ; 各株の12年間の平均ルビーロウムシ密度

x_3 ; 各株の12年間の平均ツノロウムシ密度

x_4 ; 各株の12年間の平均そうか病病斑葉発生率

x_5 ; 各株の位置の土壌特性に関する第1主成分得点

x_6 ; 各株の位置の土壌特性に関する第2主成分得点

x_7 ; 各株の位置の土壌特性に関する第3主成分得点

$a_1 \sim a_7$; 上記の各説明変数の偏回帰係数

ここでは、各株ごとに合計した12年間の総収穫果実数の年あたり平均を従属変数とし、4種類の病虫害 (密度の高かった3種のカイガラムシ、ヤノネカイガラムシ、ルビーロウムシ、ツノロウムシおよびそうか病) のそれぞれについて各株ごとにもとめた12年間の平均発生密度と、その株が位置する場所の土壌の特性を示す3種の変量の、合計7変数を説明変数とした。

3種のカイガラムシの平均密度は、11月の調査時の密度グレイドから単位枝あたりの雌成虫個体数

を推定する方法により、1980年から91年までの11月の密度グレードにもとづいて算出した（3章参照）。そうか病の平均発生密度は、病原菌の密度グレードの定義により、1980年から91年までの11月の密度グレード得点（3章参照）の平均とした。

表5-1 土壌特性に関する9種類の測定値（詳細は2章参照）から求めた相関行列の固有値、全分散に対する各主成分の寄与率、固有ベクトル（主成分の係数） 固有値が1未満の第4以下の6種類の主成分は除外してある。

	第1主成分	第2主成分	第3主成分
固有値	2.4508	1.8077	1.4644
全分散に対する寄与率	0.2723	0.2009	0.1627
固有ベクトルの値 (測定値の種類)			
窒素含量	-0.5180	-0.2070	-0.0734
リン含量	-0.5660	-0.0317	0.0967
カリウム含量	0.2806	-0.0791	0.5334
カルシウム含量	-0.4859	-0.2761	0.2838
マグネシウム含量	0.0977	-0.1455	0.6899
岩盤までの距離	0.0394	0.3377	0.1198
有効土層の厚さ	-0.2377	0.5429	0.0944
土壌硬度	-0.1382	0.3862	0.3465
土壌率	-0.0991	0.5427	-0.0309

ゴマダラカミキリについては、全株についての密度に関するデータがなく、また、それによる枯死についても頻度が低く、データのばらつきが少ないので、後で示す別の方法で分析し、ここでは取り上げなかった。他の病害虫についても、密度が低いので分析の対象としなかった。

土壌の特性を示す指標は、2章で得られた9種の土壌に関するデータ、有効土層の深さ（cm）、表土の厚さ（cm）、土壌硬度（cm）、土壌率（%： $=100 - \text{磔率}$ ）、および窒素、リン、カリウム、マグネシウム、カルシウムそれぞれの含量（mg/100g）を、主成分分析をおこなって要約したものである。3種類の指標は、主成分分析の結果、固有値が1以上となった第1主成分から第3主成分（表5-1）までのそれぞれについて、各株ごとに主成分得点を算出したものである。第1主成分は、窒素、リン、カルシウム含量などに代表される土壌の肥沃度の指標、第2主成分は、土層・有効土層の深さ、磔の少なさ、土の締まり具合の良さといった土壌の「物理的好適性」をあらわす指標、第3主成分は、第1主成分で表現できなかったカリウム、マグネシウムなどの「易溶性栄養物質に関する富栄養度」をあらわす指標と考えることができる。

土壌の調査地点は約4株に1ヶ所の割合でとられており、それぞれは、近接する4株がつくる四角形の対角線の交点付近に位置していた。土壌の主成分得点は、土壌の調査地点ごとに算出されるが、それを近隣の4株それぞれの得点として割り当てた。対応する土壌の調査地点がない株は、重回帰分析の対象から除外した。

以上の重回帰分析、主成分分析は、SAS統計パッケージを用いて行なった。

(3) 土壌の特性と枯死頻度の相関

前項の重回帰分析では、収穫果実数に大きな影響をもつと思われる株の枯死頻度と土壌の特性の関係を知ることはできない。そこで、枯死頻度と土壌の特性をあらわす3種類の主成分得点との間の関係を、SAS統計パッケージのGLM Procedureをもちいた分散分析によって調べた。

(4) 土壌の特性をもとにした省農薬園の区分けと 病虫害密度・枯死頻度・果実収量の区間変異

前項、前々項の解析において、土壌の主成分得点のうち2種のものは、果実収量と枯死頻度の両方あるいはいずれかに対して有意に相関していることが示された(詳しくは結果を参照)。そこで、省農薬園における病虫害の加害様式を土壌の特性と関連させて総合的に評価するために、これら2種の土壌の主成分得点をもとに、省農薬園を4つの部分に区分けして、各区での病虫害密度や枯死頻度を比較した。さらに、それぞれの区における反当たりおよび株当たりの果実収量を算出した。区分けは、2種の土壌変数の省農薬園内の平面的な勾配を示す等値線図を描き、これに基づいて行なった。

3. 結 果

(1) 果実収量の年次変化

1983、87、91年の測定によってもとめられた、果実の1個の平均重量は、それぞれ、95.0g(標準偏差=29.91)、111.2g(21.42)、108.7g(23.66)となった。この3つの値の平均、105.0gを収穫果実数に乗じて、各年次の省農薬園全体の果実の収量を算出した(図5-1)。およそ1年おきに収量が増減する、いわゆる"隔年結果"の効果が現れているが、その効果を考慮すると、1983年頃から収量は比較的安定していた。1983年以降の平均果実収量は、年当たり7.40tとなった。

(2) 省農薬園の収穫果実数にあたる病虫害および土壌の影響

式5-1にもとづく重回帰分析に先だち、説明変数として用いた7変数のなかの2変数間の交互作用の有意性の有無を確かめるために、式5-1の説明変数の項にすべての2変数の組み合わせ21種類の交互作用の項を加えたモデルを作成して、SAS統計パッケージのGLM Procedureをもちいた分散分析を行なった。3変数以上の間の交互作用は無視した。その結果、そうか病密度とツノロウムシ密度の交互作用の項だけに有意性が検出された($F=8.99, p=0.0029$)。そこで、この項だけを、もとの重

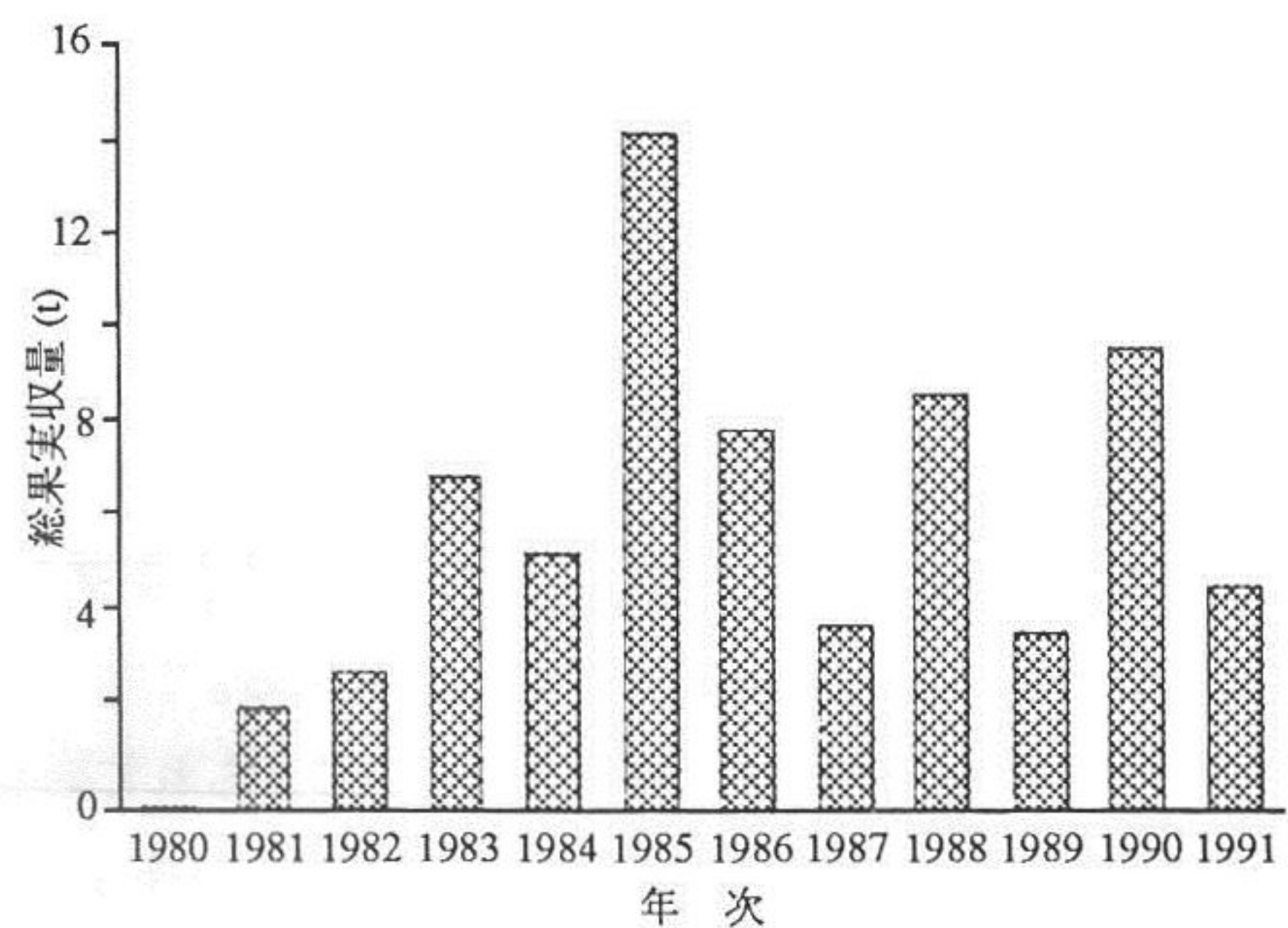


図5-1 省農薬園の収穫果実量の総重量の年次変化

行なった。3変数以上の間の交互作用は無視した。その結果、そうか病密度とツノロウムシ密度の交互作用の項だけに有意性が検出された($F=8.99, p=0.0029$)。そこで、この項だけを、もとの重

を、もとの重回帰式（式5-1）の説明変数に加えて、重回帰分析（SAS, REG Procedure）を行なった。その結果、土壌の特性についての第1主成分得点以外のすべての変数と、12年間の平均収穫果実数の間には有意な相関が検出された（表5-2）。ヤノネカイガラムシ、ツノロウムシ、そうか病の平均密度、土壌の第2、第3主成分の得点とは正の相関が、ルビーロウムシの平均密度とは負の相関が認められた。ツノロウムシとそうか病の交互作用の項は、有意な値を示しており、ツノロウムシ、そうか病それぞれの平均密度と平均果実数の回帰直線の傾きは、相互の量の変化に依存して変化することが示された。

表5-2 収穫果実数と4種の病害虫、土壌の特性との関係についての重回帰分析の結果 式5-1に、予備的な分析で有意な効果をもつことが判ったツノロウムシ密度とそうか病の交互作用の項を加えたものをモデルとした。土壌のデータが得られなかった株を除いた439株について分析した。全平方和は16171333.6、誤差平方和は1190219.2、 $R = 0.2879$ 、 $F = 21.73$ 、 $P < 0.0001$ となった。

説明変数	F値	P	偏回帰係数
ヤノネカイガラムシ密度	10.34	0.0014	29.9005
ルビーロウムシ密度	17.87	0.0001	-9.4023
ツノロウムシ密度	27.81	0.0001	186.9723
そうか病密度	33.67	0.0001	308.1816
土壌の第1主成分得点	0.01	0.9208	-0.2677
土壌の第2主成分得点	14.03	0.0002	10.6096
土壌の第3主成分得点	12.21	0.0005	10.8753
ツノロウムシ密度とそうか病の交互作用	20.59	0.0001	-519.9149

（3）土壌条件と枯死頻度の関係

まず、3種類の土壌の主成分得点が、原因別の枯死頻度および総枯死頻度にあたる効果について、すべての交互作用を含めて、分散分析を行なった。その結果、ほとんどの枯死の場合において、交互作用の項は、枯死頻度に有意な効果をあたえていないことが示されたので、交互作用の項を除外して、3種類の土壌の主成分得点の主効果のみの分散分析を行なった（表5-3）。

総枯死頻度、風倒と原因不明による枯死を除いた枯死頻度、害虫（ヤノネカイガラムシ、ルビーロウムシ、ゴマダラカミキリ）のいずれかの食害による枯死の頻度、幼木の定着失敗による枯死頻度、ゴマダラカミキリの食害による枯死頻度のそれぞれと、土壌の「物理的好適性」を示す第2主成分得点との間には、負の相関のあることが示された（表5-3）。また、ルビーロウムシの食害による枯死頻度は、「易溶性栄養物質に関する富栄養度」をあらわす土壌についての第3主成分得点に対して、有意な負の相関を示していた。一方、ヤノネカイガラムシの食害による枯死頻度、風倒による枯死頻度は、いずれの土壌についての変数とも有意な相関関係はなかった。また、第1主成分得点は、いずれの枯死頻度に対しても有意な相関関係を示さなかった。

表5-3 株の枯死頻度と土壌の特性との関係

土壌の特性に関する3種類の主成分得点と枯死頻度の関係についての重回帰分析の結果。枯死頻度は原因別に分析した。土壌のデータが得られていない株を排除したため、439株のデータを用いて分析した。詳しくは本文参照。

従属変数	総枯死			風倒と原因不明を除く総枯死			幼木の定着不良による枯死			昆虫類の食害による総枯死		
	総平方和	誤差平方和	R	総平方和	誤差平方和	R	総平方和	誤差平方和	R	総平方和	誤差平方和	R
(モデル全体)	86.1549	81.7552	0.2260	68.8565	66.4366	0.1875	27.7950	27.3194	0.1308	38.5194	37.7257	0.1435
	F値	P		F値	P		F値	P		F値	P	
	7.8000	0.0001		5.2800	0.0014		2.5200	0.0572		3.0500	0.0284	
(説明変数)	F値	P	偏回帰係数	F値	P	偏回帰係数	F値	P	偏回帰係数	F値	P	偏回帰係数
土壌の第1主成分得点	2.0300	0.1547	-0.0301	1.9200	0.1668	-0.0263	0.2300	0.6283	-0.0059	2.0300	0.1548	-0.0204
土壌の第2主成分得点	20.9800	0.0001	-0.0949	13.6500	0.0002	-0.0690	7.1300	0.0079	-0.0320	6.9200	0.0088	-0.0370
土壌の第3主成分得点	0.0700	0.7846	-0.0059	0.0200	0.8818	0.0029	0.1400	0.7065	0.0047	0.0200	0.9020	-0.0018
(つづき)												
従属変数	ゴマダラカミキリによる枯死			ヤノネカイガラムシによる枯死			ルビローウムシによる枯死			風倒による枯死		
	総平方和	誤差平方和	R	総平方和	誤差平方和	R	総平方和	誤差平方和	R	総平方和	誤差平方和	R
(モデル全体)	35.0843	34.4599	0.1334	2.9795	2.9673	0.0640	0.9977	0.9815	0.1274	3.9636	3.9052	0.1213
	F値	P		F値	P		F値	P		F値	P	
	2.6300	0.0499		0.6000	0.6182		2.3900	0.0681		2.1700	0.0913	
(説明変数)	F値	P	偏回帰係数	F値	P	偏回帰係数	F値	P	偏回帰係数	F値	P	偏回帰係数
土壌の第1主成分得点	1.7700	0.1837	-0.0182	1.7700	0.1837	-0.0182	1.1800	0.2778	0.0025	1.9800	0.1603	-0.0065
土壌の第2主成分得点	5.8200	0.0162	-0.0324	5.8200	0.0162	-0.0324	1.3500	0.2457	-0.0026	3.7800	0.0526	-0.0088
土壌の第3主成分得点	0.1200	0.7251	0.0049	0.1200	0.7251	0.0049	4.7000	0.0308	-0.0051	0.6200	0.4313	-0.0037

(4) 土壌条件による省農薬園の区分けと各区における病害虫密度・枯死頻度・果実収量

以上で示したように、土壌に関する第2主成分得点と第3主成分得点は、果実収量ならびに、いくつかの要因別の枯死頻度と有意な相関関係を示していた。この2つの主成分得点の省農薬園内の平面的な勾配をみると(図5-2 a, b)、省農薬園は、土壌条件の異なる次の4つの部位に区分することができた。第2主成分、第3主成分のいずれの得点も相対的に高い部分(Site A)、第2主成分得点はSite Aと同様に高いが、第3主成分得点は比較的低い部分(Site B)、逆に、比較的3主成分は高いものの、第2主成分がかなり低い部分(Site C)、いずれの得点も低い部分(Site D)の4部分に区分けした(図5-3)。

ヤノネカイガラムシとルビーロウムシの密度は、Site A, Cで低く、Site B, Dで高かった(図5-4 a, b)。ヤノネカイガラムシの密度については、Site AとCの間には有意差がなかったが、それ以外の区間には有意差が認められた。ルビーロウムシでは、Site A, Cの間とSite B, Dの間には、それぞれ有意差が認められなかったが、Site A, CとSite B, Dの間には有意差が認められた。

ツノロウムシの密度は、Site B, C, A, Dの順に高く、それぞれの区間で有意差が認められた(図5-4 c)。

そうか病の密度は、Site Aでもっとも高く、Site Dでもっとも低くなった(図5-4 d)。Site B, Cの間には、そうか病の密度に有意な差はなかった。

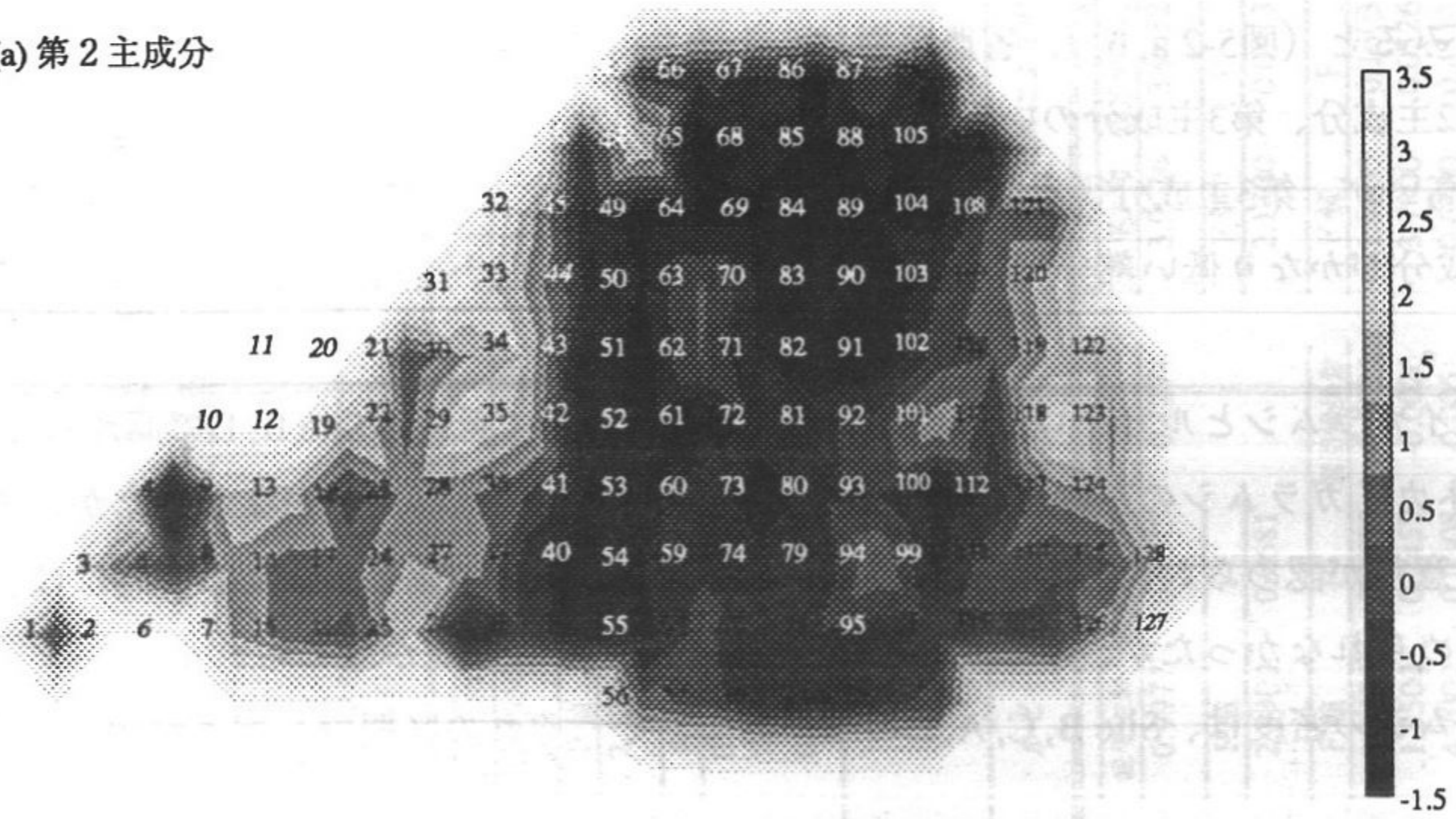
12年間を平均した年当たり株当たり収穫果実数は、Site A, B, Cでは、それぞれ109.1, 115.8, 99.1個となり、これらの間には有意差がなかった。Site Dでは65.8個となり、他の3区よりも有意に少なかった(図5-5)。

すべての枯死原因をこみにした枯死頻度は、Site D, C, B, Aの順に高かった(表5-4)。苗木の定着不良、昆虫類の食害、ゴマダラカミキリの食害、ヤノネカイガラムシの食害、ルビーロウムシの食害のそれぞれによる枯死頻度も同様の傾向を示し、いずれの場合でも、Site D, Cで高く、Site B, Aで低かった(図5-6、表5-4)。のべ枯死回数、苗木の定着不良による枯死回数、昆虫類による合計枯死回数、ゴマダラカミキリによる枯死回数について χ^2 による独立性検定を行なったところ、区間に有意差が検出された(それぞれ $\chi^2=64.373$, $p=0.0001$; $\chi^2=15.930$, $p=0.0003$; $\chi^2=32.888$, $p=0.0001$; $\chi^2=23.591$, $p=0.0001$ 、表5-4)。

4. 考 察

果実収量に関わる諸要因の重回帰分析により、株ごとの収穫果実数と、その株が位置する場所の土壌の特性に関する主成分得点のうち、第2主成分得点、第3主成分得点のそれぞれとの間に、有意な正の相関のあることが示された(表5-2)。第2主成分得点は土壌の物理的な特性をあらわし、第

(a) 第2主成分



(b) 第3主成分

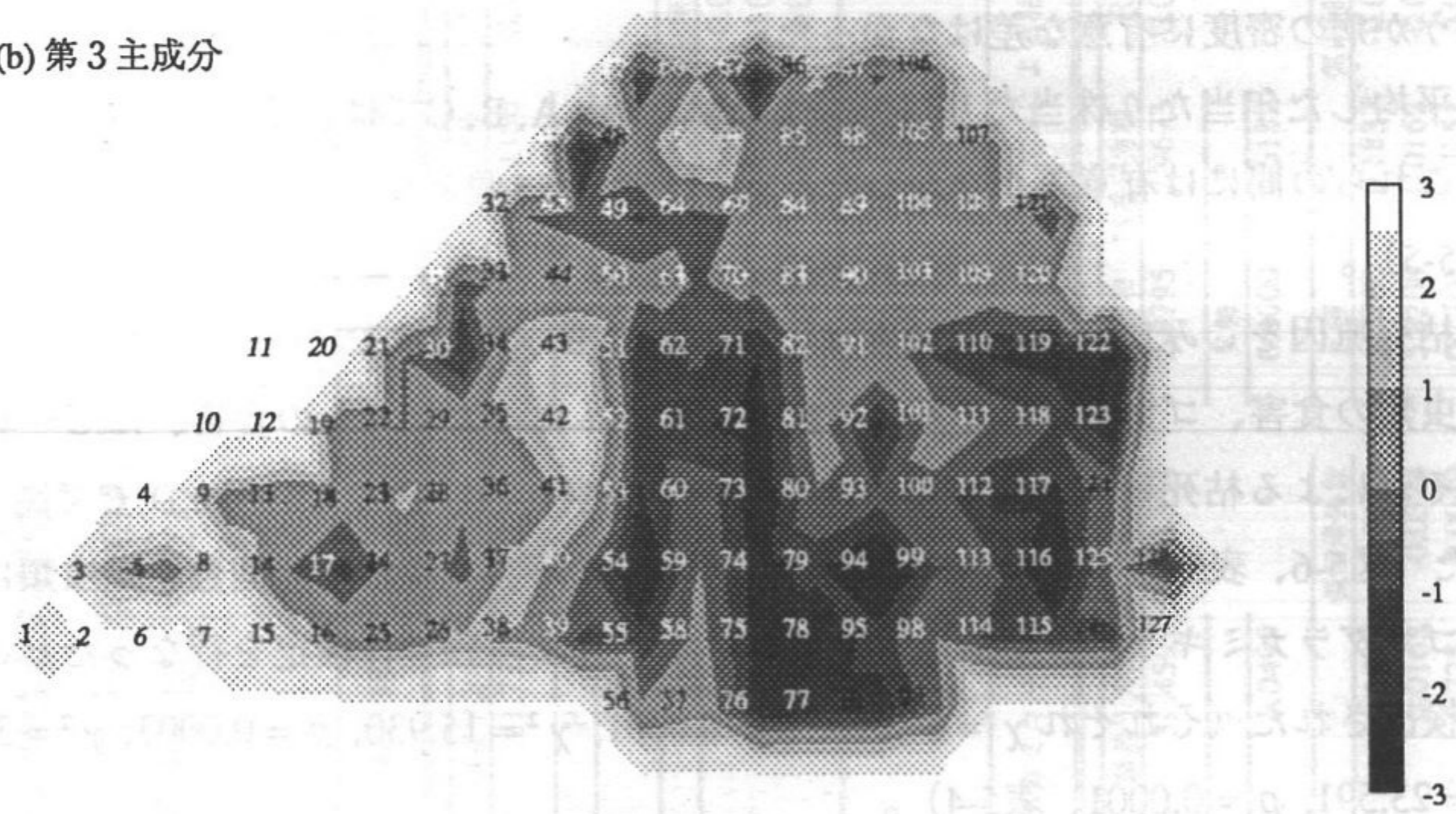


図5-2 土壤特性をあらわす第2主成分、第3主成分得点の等値線図

数字は土壤の調査地点番号を表し、各数字の左うえの部分各地点の位置をあらわす欠損値は無視して作図した

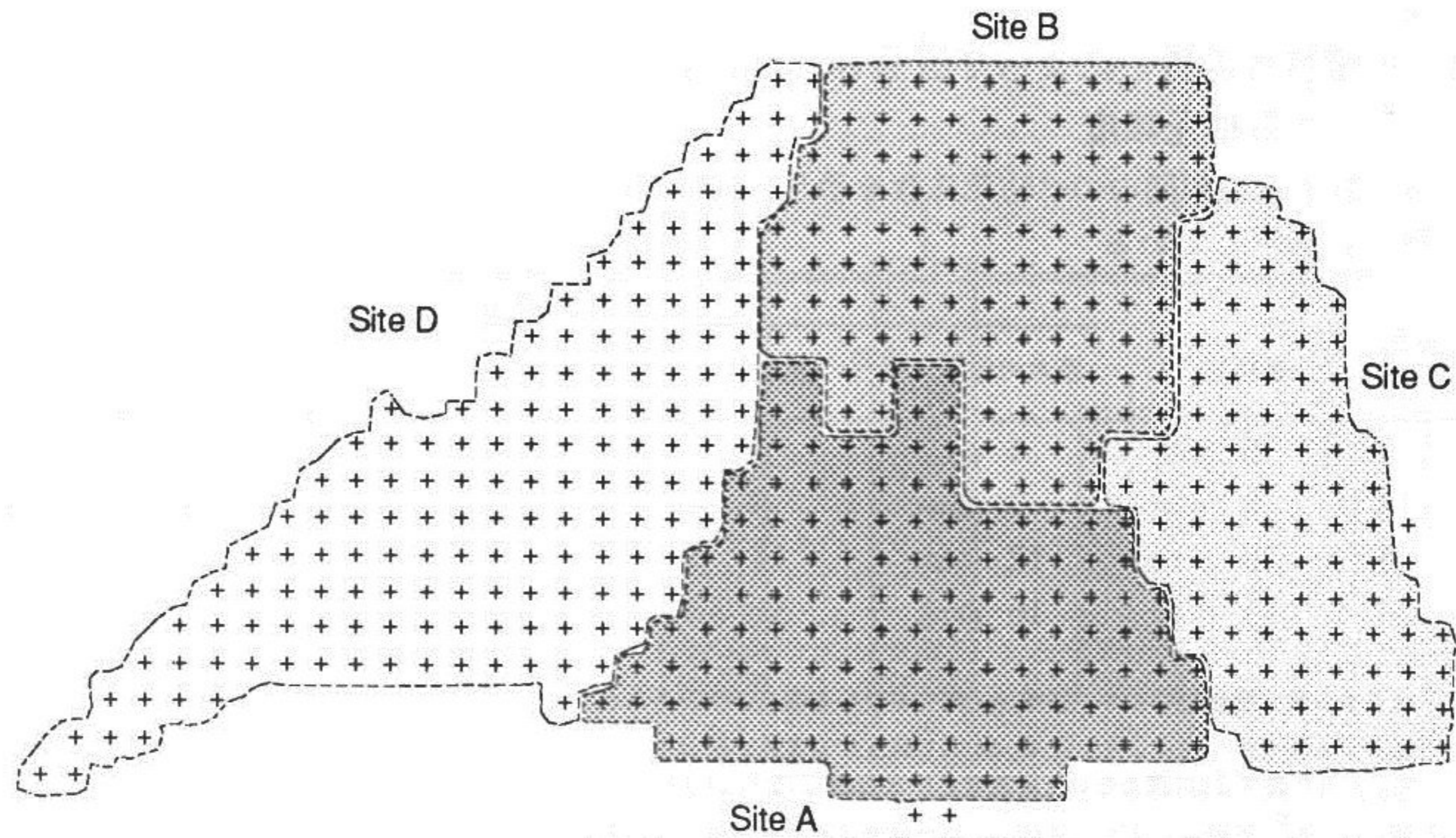


図5-3 土壌の特性による省農薬園の区分け

+は、株の位置を表す。土壌の特性に関する2種類の主成分得点の分布にもとづいて、それぞれが類似した土壌組成をもつ4区域に区分することができた。作業道沿いに位置して人為の影響の大きい4株についてはいずれの区域にも分類しなかった

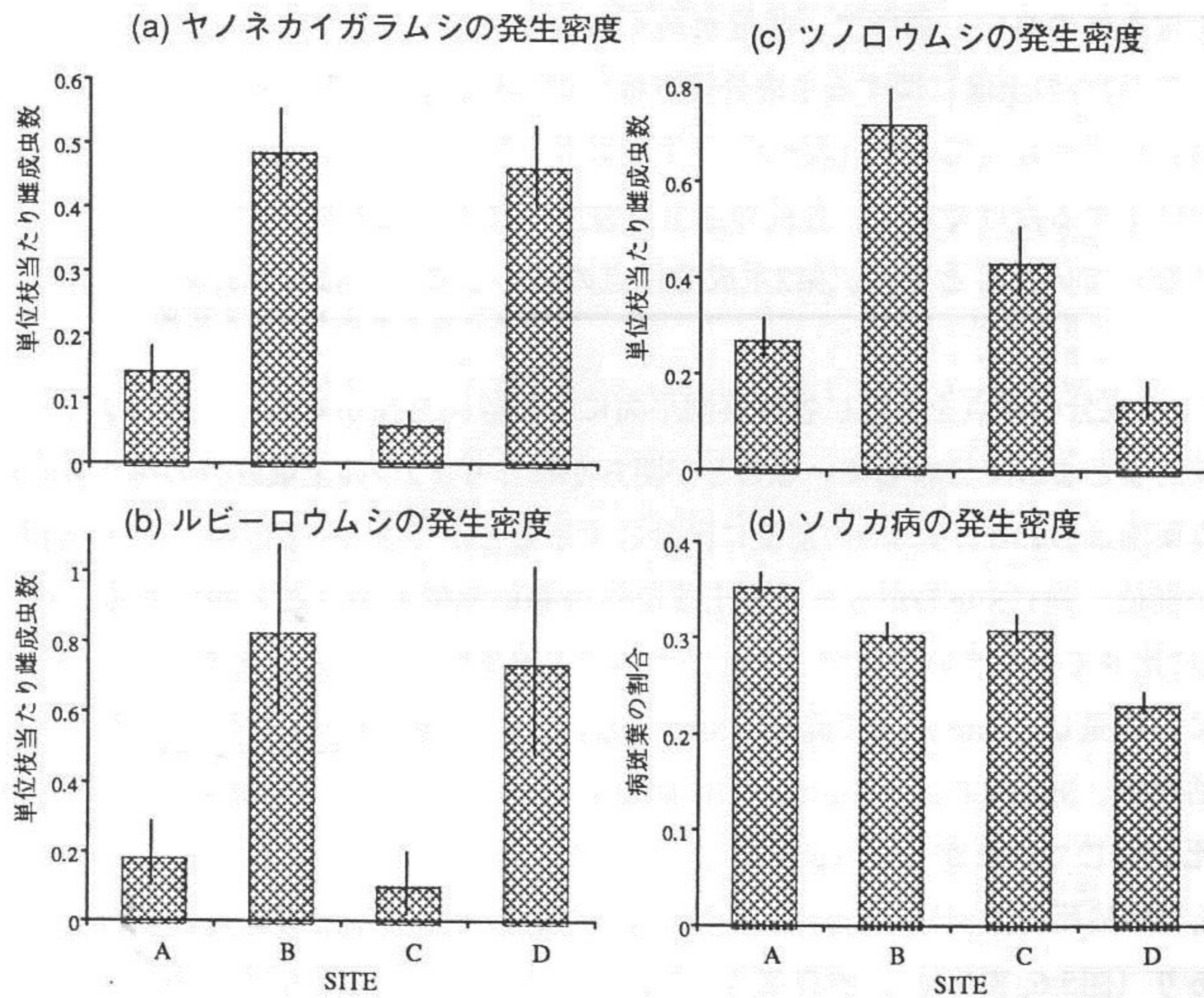


図5-4 土壌組成の異なる4区域別にみた4種類の病害虫の12年間の平均密度とその95%信頼区間（縦線）それぞれの区域の株数は表5-4参照

表5-4 土壤特性の違いによって区分された省農薬園4区域それぞれにおける原因別の枯死頻度

株数以外の数字は12年間ののべ枯死株数を示し、括弧内の数字は、それぞれの区域の株数に対するのべ枯死回数の比を示している

Site	株数	総枯死 ¹⁾	枯死原因				
			苗木の定着不良 ²⁾	昆虫類合計 ³⁾	ゴマダラカミキリ ⁴⁾	ヤノネカイガラムシ	ルビーロウムシ
A	133	6 (0.05)	4 (0.03)	2 (0.02)	1 (0.01)	1 (0.01)	0 (0.00)
B	118	8 (0.07)	2 (0.02)	5 (0.04)	5 (0.04)	0 (0.00)	0 (0.00)
C	95	30 (0.32)	12 (0.13)	11 (0.12)	10 (0.11)	1 (0.01)	0 (0.00)
D	154	55 (0.36)	16 (0.10)	31 (0.20)	24 (0.16)	5 (0.03)	2 (0.01)

- 1) χ^2 値による独立性検定により、区域(site)間で頻度に有意差が検出された ($\chi^2 = 64.373, P = 0.0001$)。
- 2) χ^2 値による独立性検定により、区域(site)間で頻度に有意差が検出された。
Site A, Bの頻度は5に満たないため両者をまとめた ($\chi^2 = 15.930, P = 0.0003$)。
- 3) χ^2 値による独立性検定により、区域(site)間で頻度に有意差が検出された。
Site Aの頻度は5に満たないため、Site A, Bの頻度をまとめた ($\chi^2 = 32.888, P = 0.0001$)。
- 4) χ^2 値による独立性検定により、区域(site)間で頻度に有意差が検出された。
Site Aの頻度は5に満たないため、Site A, Bの頻度をまとめた ($\chi^2 = 23.591, P = 0.0001$)。

3主成分得点は栄養的な特性をあらわすが、いずれの得点も、値が高いほど、一般的に作物の生育にとって好適であると考えられ(表5-1、2章も参照)、重回帰分析の結果は、この2種の得点で表現される「土壤条件の良い」場所で、収量が高くなっていてを示している。

また、この2つの土壤に関する主成分得点は、のべ枯死頻度あるいは原因別にみた枯死頻度のいくつかと負の相関をもっていた(表5-3)。すなわち、物理的・栄養的に劣った土壤上の株では、果実の収量が低下するだけでなく、各種の昆虫(害虫)による食害や苗木の定着失敗などによる枯死頻度が高くなっていて。とくに、第2主成分得点の低いところでは、枯死頻度が有意に高くなっていて。

2つの土壤成分の得点をもとに省農薬園平面に等値線図を描かせると、似たような特性をもった土壤が比較的まとまって分布していることが明らかになり、2つの土壤成分の得点の高低の組み合わせで、省農薬園はおおまかに4つの部位に区分けすることができた(図5-2)。Site Aがもっとも土壤条件の良い部位、逆にSite Dがもっとも土壤条件の悪い部位ということが出来る。Site Bは第3主成分がSite Aに比べてやや悪いだけで、それに次いで土壤条件が良いといえる。重回帰分析から予想されるように、収量は、Site A, Bで高く、Site C, D、とくにSite Dで低くなった(図5-5)。また、ほとんどの枯死が、Site D, C、とくにSite Dに集中していたが、逆に、土壤条件の良いSite A, Bではほとんど枯死が生じていなかった(図5-6)。

Site C, Dの枯死の大部分は、主に「貧土壤」が原因で生じると考えられる苗木の定着不良によるものであり(図5-6, 表5-4)、省農薬法に起因すると考えられる、病虫害の発生による枯死はわずかであった。1990年と91年はゴマダラカミキリによる枯死頻度が高かったが、この間、「見回り防除法」は停止されており、「見回り防除法」を他の調査期間同様に実施していれば、こうした枯死は防止できたと思われる(3章参照)。89年以前も、Site A, Bに比べれば、ゴマダラカミキリによる枯

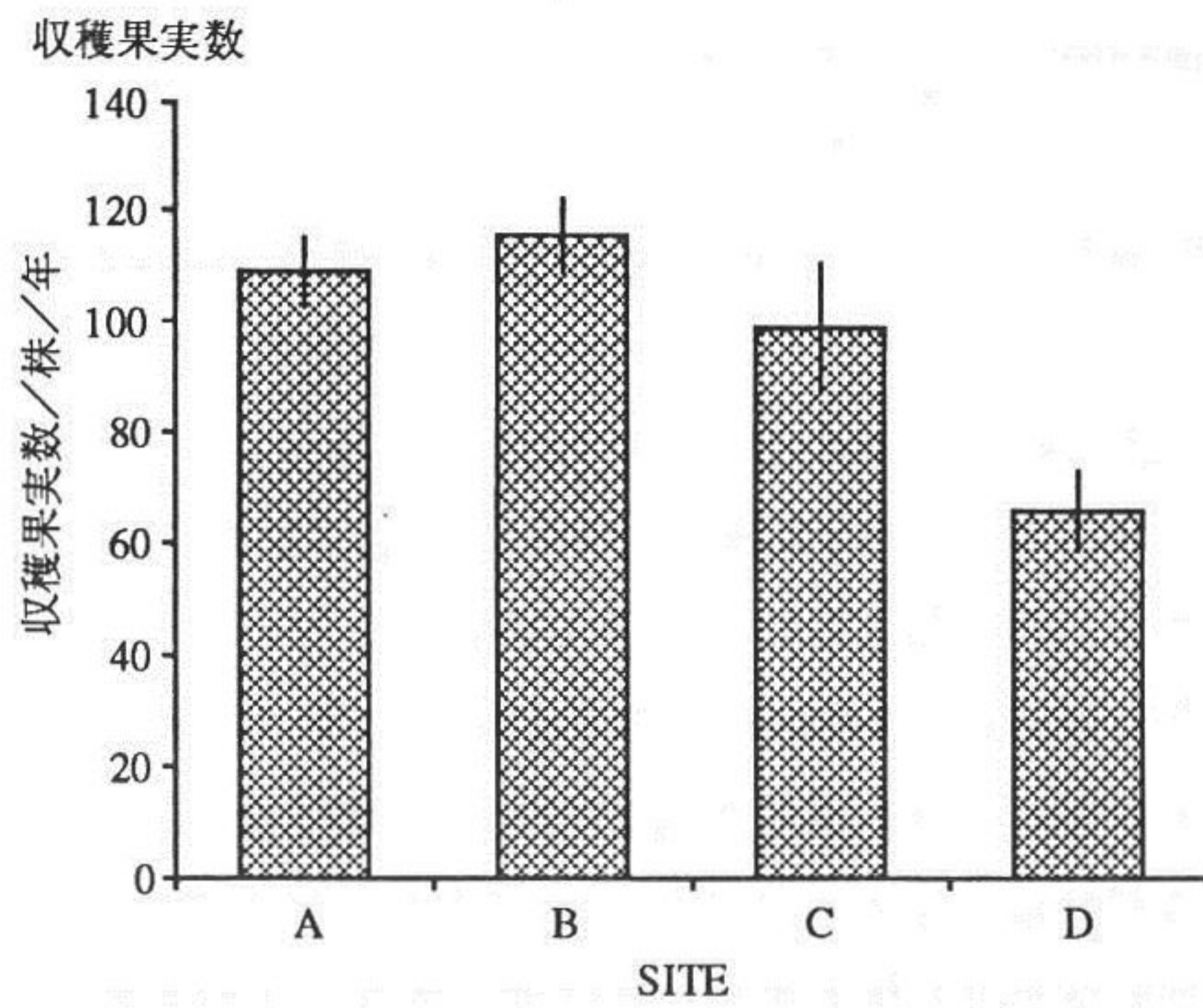


図5-5 土壌組成の異なる4区域別にみた12年間の平均収穫果実数とその95%信頼区間(縦線)
それぞれの区域の株数は表5-4を参照

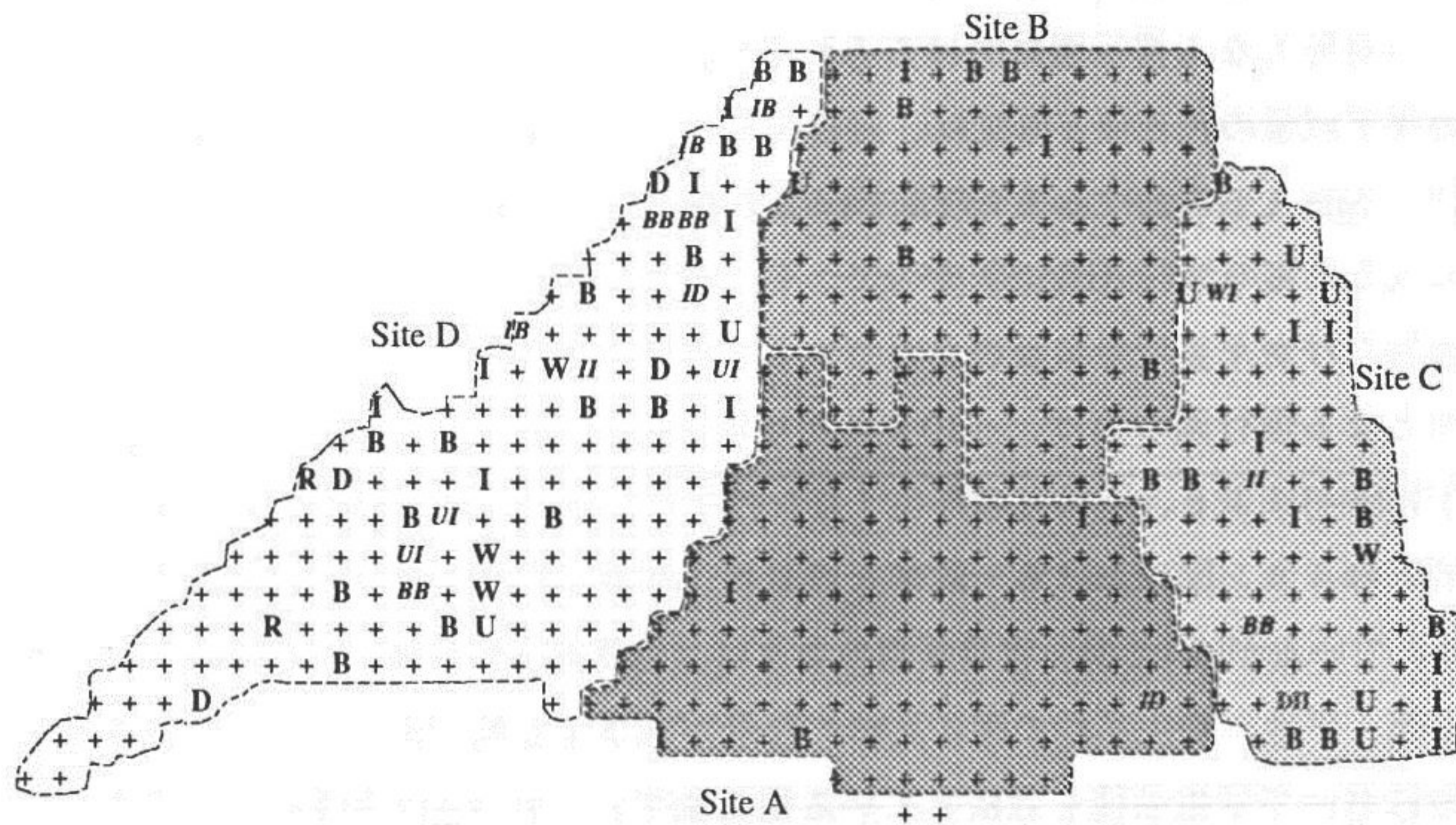


図5-6 省農薬園における12年間の枯死木の分布図

+以外の文字は、その位置で株が枯れたことを示す。Bは、ゴマダラカミキリによる枯死を、Iは幼木の定着不良による枯死を、Dはヤノネカイガラムシによる枯死を、Rはルビーロウムシによる枯死を、Wは風倒による枯死を、Uは原因不明の枯死を表している。同じ位置で、2度枯れた場合は斜字体で、3度枯れた場合は下線部をつけて、それぞれ文字を並記してある。枯死を示す文字以外は、図5-3と同じである。

死頻度は高かったが、これは、土壌の悪条件に起因する幼木期間の延長が強く関係している可能性が高い。幼木期には、慣行園においてもしばしば、ゴマダラカミキリによる枯死が発生すると言われている[5-1,3]。

また、4区域での病害虫密度（図5-4）と各区域の収量の間には、明瞭な相関関係が認められなかった。これは、Site C, Dの減収は、土壌条件の違いが病害虫密度への影響を通して間接的にもたらされているものではなく、土壌の株に対する直接的な作用に因っていることを示唆している。

このように、省農薬園中の、物理的・栄養的に劣った土壌、とくに第2主成分得点が低い土壌は、果実収量を大きく低下させ、枯死頻度を増加させていたことが示された。

省農薬園は、造成の際に、Site D付近にあった表土を削って、Site AからSite Bに土を運んだため（1章）、Site Dには表土がほとんど形成されておらず（省農薬園は"段"を造成しない"山なり工法"を採用している）、この部分は、ミカン栽培にとってきわめて不適当な場所となっている。Site Cは、隣接する二次林や地形などの影響もあり日照時間が短く、土壌の物理的条件も不適で、この部分もミカンの生育には適していないと考えられる。以上に示したいくつかの事実を考慮すると、慣行的な栽培方法によって農薬を使用しているとしても、Site C, Dのような場所では、同様の被害が発生する可能性の高いことが推察される。

ところで、ここで調査対象とした省農薬栽培法が果実収量に及ぼす影響を評価するためには、省農薬園とその対照となる慣行園におけるそれぞれの標準的な果実収量を比較する必要がある。

省農薬園の果実収量の代表値としては、栽植後約10年が経過して本格的に収穫が始まった1983年以降の9年間の、Site A, Bにおける果実収量を採用する。この区域には、Site C, Dにみられるような、「貧土壌」に因る果実の減収（図5-5）がなく、この値には、「貧土壌」の影響を含まない、省農薬栽培による影響だけが果実収量に反映されていると考えられる。

一方、対照となる慣行園の値は、「10 a 当たり年平均2.57 t」とした。この値は、1993年和歌山県農林統計年報[5-4]による、下津町の早生ミカンの平均反収にもとづいた。栽植後10年以上が経過した慣行栽培下のミカン園における一般的な収量は、和歌山県では、10 a 当たり年平均3~4 t程度になると言われているが[5-1,2,3]、省農薬園のように、山間部、傾斜地、早生品種という条件をもつ園では、海岸部、平地、晩生品種の園に比べて収量が低下する傾向があり[5-1,3]、下津町近辺の山間部の傾斜地において早生品種を栽培している慣行園では、10 a 当たり約3 tの収量が上限に近い値であるとのことである[5-3]。したがって、ここでは上記の値を採用することにした。

1983年以降の9年間のSite A, Bにおける株当たり平均収穫果実数は167.8個であり、10 a 当たりの年平均収量では約1.83 tとなる。対照となる慣行園の値が2.57 tであるから、省農薬栽培を用いることによる減収は28.8%となる（ただし、多年度の統計を用いた減収率については第7章・115ページを参照）。

重回帰分析の結果では、主要な病害虫の密度のうち、ルビーロウムシ密度は収穫果実個数との間に負の相関を示しており（表5-2）、省農薬園での減収にはルビーロウムシが強く関与していることを示唆している。1983年以降の9年間の平均密度（0.5091）と重回帰分析の偏回帰係数 -9.4023（表5-

2)にもとづいて計算すると、省農薬園では、ルビーロウムシが株当たり年平均果実4.79個の減収をもたらしたことになる。この数値をSite A, Bでの平均収量にそのまま適用すると、これは慣行園収量の2.0% (減収全体の6.2%) にあたる。

しかし、残りの減収分の原因については、今回の調査からは明らかにすることができなかった。重回帰分析による解析では、ヤノネカイガラムシ密度、ツノロウムシ密度、そうか病密度のいずれも、収穫果実数と正の相関をもっていた(表5-2)。すなわち、これらの病害虫の密度の高い株ほど果実の収穫量が多いという関係が示されたことになった。また、これらの病害虫は、枯死との関連もほとんど認められなかった。

本調査では、収量に関わると考えられる多数の要因を制御せずに実験を行なったため、重回帰分析による比較を行なうことでしか、省農薬の影響を評価することができなかった。しかし、要因間の交絡作用、病害虫密度の偏りによる相関関係の推定過誤あるいは密度と収量との非線形的な関係などが存在していても、重回帰分析の方法としての限界上それを検出することができず、それらのいずれかが存在する場合には、それらの病害虫がミカンの収量にあたる負の効果が正しく評価されない。また、省農薬園では病害虫密度がほぼすべての株において慣行園のものよりきわめて高く、ここでの重回帰分析からは、慣行園で普通みられるような密度を含む範囲における収量と密度との関係はわからない。たとえば、防除手段を講じなかった86年から88年にかけては、全園にわたってヤノネカイガラムシ密度が著しく増加しており、この期間にヤノネカイガラムシが樹の成長や収量におよぼした負の影響は少なくないと推定できる(3章参照)が、この被害は省農薬園のほぼ全体に及んでいると考えられ、省農薬園内だけの重回帰分析からは、慣行園と比較してのヤノネカイガラムシの減収量を推定することはできない。その他の病害虫についても同じことが言える。その他、主要な病害虫の密度増加に加えて、他の多くの病害虫の効果が集積されて、収量の減少につながっている可能性も考えられる。

Site A, Bでは枯死頻度もきわめて低かった(表5-4)。このことは、ある程度土壌条件の良いところでは、省農薬法を採用しても、枯死が増加しないことを示している。Site A, B中のゴマダラカミキリによる枯死6例のうち、4例が「見回り防除」を停止していた1990, 91年に発生しており、これらの枯死は省農薬栽培によっても、本来は防げていたと考えられる。

以上をまとめると、本調査で用いたような省農薬栽培下では、1) 土壌条件の極端に悪いところを除けば、慣行園と比べて、約30%弱の減収がもたらされること、2) 株ごとのルビーロウムシ密度と収量の間には負の相関があり、減収分の少なくとも14%は、ルビーロウムシの発生によるものであること、3) 貧土壌、とくに物理的な特性が不適な場所では、著しい収量の低下や苗木の定着不良やゴマダラカミキリ、カイガラムシ密度の上昇による株の枯死が高い頻度で生じること、4) 土壌の条件が良いところでは、「見回り防除法」によってゴマダラカミキリを防除している限り、株はほとんど枯れないこと、などが本調査で明らかになった。前述の通り、減収の大部分については、それをもたらす原因を特定することができなかった。今後は、ルビーロウムシを含めた病害虫のそれぞれについて、要因を整えた条件下で発生密度を操作するなどして、各病害虫密度と果実収

量の関係を改めて詳細に検討する必要があるだろう。

4割程度の減収を許容し、土壌条件がある程度悪いところでの栽培を断念するならば、本調査で用いたような省農薬管理によっても、病虫害を暴発的に発生させることなく、比較的安定した形でミカンを栽培することができる。低コスト・低労力あるいは安全性といった省農薬栽培の利点が、それによる減収分を上回るかどうかについては、それぞれ7章と8章で検討する。また、本章で扱わなかった品位・品質の問題については次の6章で扱うことにする。

文献・注

- 5-1) 和歌山県果樹園芸試験場・主任研究員、菅井 晴雄・鯨 幸和 両氏による談話。1994年5月26日に中屋敷が行なった聞き取り調査による。
- 5-2) JA和歌山営農対策室生産対策課・課長代理、宮脇 俊弘 氏による談話。1994年5月26日に中屋敷が行なった聞き取り調査による。
- 5-3) JA下津町・和歌山県果樹園芸技術員・営農指導部主任、岡畑 浩二 氏による談話。1994年5月26日に中屋敷が行なった聞き取り調査による。
- 5-4) 1993年和歌山県農林統計年報。