

カキ汚染果発生におよぼす環境要因，とくに園内湿度

とボルドー液散布の影響の計量的解析

杉本好弘・保井昭男*

Numerical Analysis on the Effect of Environmental Factors
(Especially the Humidity in the Orchard and the Bordeaux
Mixture) on Black Spots of Japanese Persimmons.

Yoshihiro SUGIMOTO and Akio YASUI

緒 言

カキの果皮の黒変症状である汚染果は、本県主要品種である富有、松本早生富有などに多く発生する。この汚染果の発生誘因については、1974～1977年まで、農林省の総合助成試験として、農林省果樹試安芸津支場、岐阜県農試、奈良県農試、福岡県園試、和歌山県果試による研究解明が行なわれてきた。この中で汚染果のうち、黒点隆起状汚染果、カスミ状汚染果などは、病原菌によりひき起されること^{1), 10)}雲形状汚染果、線状汚染果、黒点陥没状汚染果などは、ボルドー液の散布や園内の多湿条件下で発生が助長されることなどが明らかにされている^{1, 2, 3, 4, 5, 6, 13)}。しかし、これらはいずれも定性的な解析にとどまっており、それぞれの要因が、どの程度汚染果を発生させるかという計量的な解析は十分ではない。

筆者らは、主に非病原性の汚染果発生に関与する要因について調査および実験を行ってきたが、カキ園の環境要因(とくに園内湿度とボルドー液散布)と汚染果発生との計量的解析による若干の知見を得たのでここに報告する。

実験Ⅰ 現地調査による要因解析

材料および方法

1973年11月に県内のカキ産地の汚染果発生富有園で、

第1表 カキ汚染果発生園の環境実態(1973)

地 区	調査点数	11月中の園内湿度			ボルドー液 散布回数	汚染果 率(%)	汚染度
		A*	B**	C***			
樫原市	2	480.0	406.0	256.0	0.0	29.4	5.7
西吉野村白銀	6	370.0	227.0	76.7	0.0	16.5	3.8
〃 賀名生	4	458.0	378.0	76.0	2.0	79.6	32.7

*) 11月の園内湿度80%以上の積算時間

**) " 90%以上の "

***) " 100% の

汚染果発生とボルドー液散布および園内湿度との関係を調査した。供試園は樫原市1園、西吉野村5園の計6園とし、各園2地点で汚染果率、園内湿度を調査、測定した。

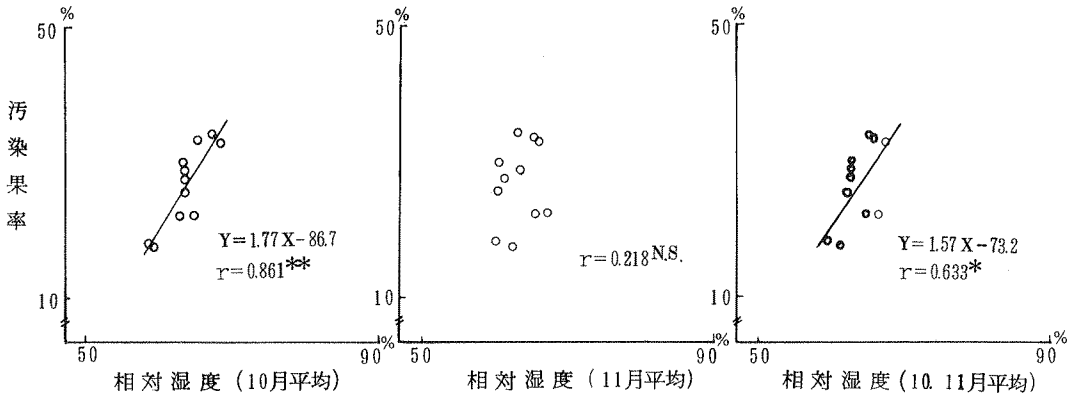
汚染果調査は11月14日から20日にかけて行ない、調査果数は1地点あたり90果とした。病原性の汚染果(黒点隆起状、カスミ状)は調査から除外した。園内湿度は、地上1.5mに百葉箱を設置し、自記温湿度計で11月1日から30日まで測定した。ボルドー液散布回数については聞きとり調査を行なった。

実験結果

調査園における汚染果率、園内湿度、ボルドー液散布回数は、第1表に示したとおりであった。また、汚染果率と園内湿度およびボルドー液散布回数の単相関を第2表に示した。汚染果率と各要因の単相関のうち、園内湿度80%以上の積算時間、同90%以上の積算時間、ボルドー液の散布回数が、統計的に有意であった。なお、湿度要因としては、園内湿度90%以上の積算時間の相関が最も高かった。

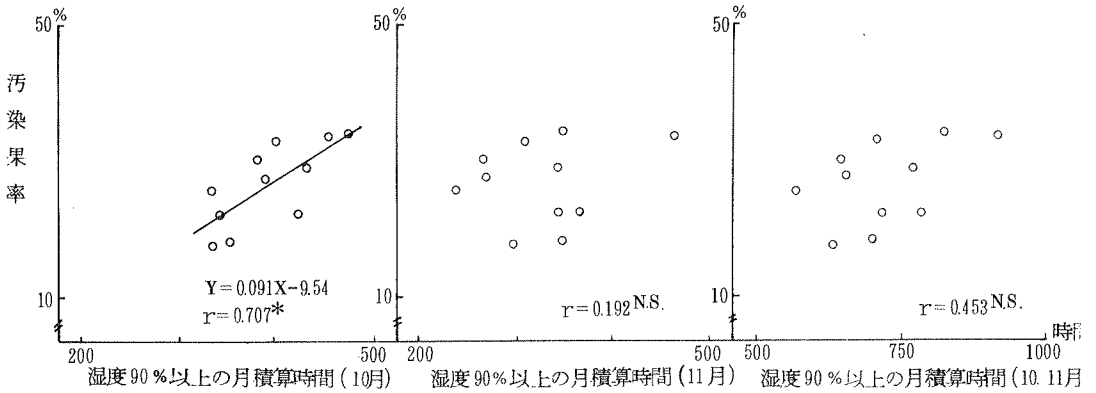
汚染果率に対する園内湿度90%以上の積算時間およびボルドー液散布回数の重回帰を求めた結果を第3表に示した。得られた回帰式は次のとおりであった。

* 現奈良県農政課専門技術員



第1図 汚染果発生と園内湿度

注1) 相対湿度は6:00, 8:00, 10:00, 16:00, 18:00, 20:00の平均を用いた。
 注2) 汚染果率, 相対湿度とも逆正弦変換した値を用いた。



第2図 汚染果発生と湿度90%以上の積算時間

注1) 汚染果率は逆正弦変換した値を用いた。

園内湿度の各指標と汚染果率との関係は、第1図および第2図のとおりであった。平均湿度との関係では、10月の平均湿度と汚染果率との間の相関は統計的に有意であったが、11月の平均湿度と汚染果率の相関は有意ではなかった。なお、平均湿度は、6:00, 8:00, 10:00, 16:00, 18:00, 20:00の各時刻の相対湿度の平均値の月平均を逆正弦変換した値を用いた。

園内湿度90%以上の積算時間との関係でも、10月の積算時間と汚染果率との相関が統計的に有意であり、11月の積算時間および10, 11月の2か月合計積算時間と汚染果率との相関は有意ではなかった。

10月の園内湿度90%以上の積算時間と汚染果率との回帰式は次のとおりであった。

$$Y = 0.091 X - 9.54 \dots\dots\dots \textcircled{2}$$

(但し、Y = 汚染果率を逆正弦変換した値, X = 10月の園内湿度90%以上の積算時間)

2. 「一般調査」データによる解析

「一般調査」データにおける環境要因データと汚染果率との関係を把握するために、林の数量化第I類による解析を行なった結果を、第5表～第8表に示した。解析に用いた要因(アイテム)は、10要因とし、1976年のデータと77年のデータに異動のある草刈り回数、防除回数、ボルドー液散布については兩年の平均を用いた。目的変数(Y)は、樹冠上部と下部のそれぞれについて、兩年の汚染果の平均値を逆正弦変換した値を用いた。

重相関係数は、樹冠上部の汚染果率に対しては0.815、樹冠下部の汚染果率に対しては0.771であった。各要因(アイテム)の汚染果率の変動に対する寄与の程度は、樹冠上部で、標高、園の方位、ボルドー散布、園の粗密の順に大きく、樹冠下部では、標高、園の方位、ボルドー散布、防除回数の順に大きかった。いずれの部位も、標高は低い園が、園の方位は西ないし北を含む方位が、ボルドーは散布園が、園の粗密は粗植園が、防除回数は

第5表 一般調査データの基本統計量 (1976, 1977)

	樹令 (年)	傾斜度 (度)	標高 (m)	栽植本数 (本/10a)	草刈回数 (回/年)	防除回数 (回/年)	汚染果率 上部 (%)	汚染果率 下部 (%)
平均	32.35	20.56	276.4	70.40	3.081	4.733	13.14	24.09
分散	78.23	42.11	2354.0	315.01	0.3206	1.671	68.75	155.1
標準偏差	8.845	6.489	48.52	17.75	0.5662	1.293	8.292	12.46
変動係数	27.34	31.57	17.55	25.21	18.38	27.31	63.11	51.71
データ数	43	43	43	43	43	43	43	43

第6表 一般調査データの要因(アイテム)と水準(カテゴリ)

要因	第1水準	第2水準	第3水準
樹令	23年生以下	24年生以上	—
園の方位	東向き, 南東向き, 南向き	左以外の方位	—
傾斜度	15°以下	16°以上	—
標高	300 m 以下	301 m 以上	—
栽植本数	50本以下	51本以上	—
園の粗密	粗	中	密
樹勢	弱 ~ 中	強	—
草刈り回数	3回以下	4回以上	—
防除回数	4回以下	5回以上	—
ボルドー液散布	無 散 布	散 布	—

第7表 一般調査データ各アイテム, カテゴリ
のスコア (樹冠上部)

要因	第1水準	第2水準	第3水準
樹令	17.127	18.104	—
園の方位	0.0	5.746	—
傾斜度	0.0	0.555	—
標高	0.0	-11.824	—
栽植本数	0.0	3.356	—
園の粗密	0.0	-1.612	-4.710
樹勢	0.0	1.029	—
草刈り回数	0.0	-2.423	—
防除回数	0.0	-3.527	—
ボルドー液散布	0.0	4.984	—
重相関係数	0.815		

第8表 一般調査データ各アイテム, カテゴリ
のスコア (樹冠下部)

要因	第1水準	第2水準	第3水準
樹令	25.919	24.520	—
園の方位	0.0	5.303	—
傾斜度	0.0	0.828	—
標高	0.0	-11.586	—
栽植本数	0.0	2.095	—
園の粗密	0.0	0.071	-2.519
樹勢	0.0	-0.315	—
草刈り回数	0.0	0.633	—
防除回数	0.0	-3.496	—
ボルドー液散布	0.0	6.311	—
重相関係数	0.771		

少ない園が, 汚染果の発生は多かった。

汚染果の発生に関与する程度の大きい要因は, ボルドー液の散布を除いて, 園内湿度に何らかの関連があると思われる要因であった。このため, 多数の, 互いに関連のある要因を, 要因間に共通する少数の成分に要約する

統計手法である主成分分析法によって, 園内湿度の指標を得ようとした。分析結果を第9表から第11表に示した。

主成分分析に用いたデータは数量化第I類のデータから, ボルドー散布要因を除いたものとしたが, 園の方位, 園の粗密, 樹勢は数値化して用いた。

第9表 一般調査データの要因間の相関行列

	樹令	園の方位*	傾斜度	標高	栽植本数	園の粗密**	樹勢***	草刈回数	防除回数
樹令	1	0.1436	-0.0661	0.2413	-0.0482	0.0376	0.2034	0.1154	-0.0718
園の方位	0.1436	1	-0.1300	0.3439	-0.1426	0.4196	0.1541	-0.2460	-0.0286
傾斜度	-0.0661	-0.1300	1	-0.3258	-0.2070	-0.1374	0.0805	0.0100	0.2041
標高	0.2413	0.3439	-0.3258	1	0.1205	0.2394	0.0785	-0.2274	-0.3755
栽植本数	-0.0482	-0.1426	-0.2070	0.1205	1	0.0750	-0.0675	0.1993	-0.0129
園の粗密	0.0376	0.4196	-0.1374	0.2394	0.0750	1	-0.0787	-0.1211	-0.1019
樹勢	0.2034	0.1541	0.0805	0.0785	-0.0675	-0.0787	1	0.2557	0.1961
草刈回数	0.1154	-0.2460	0.0100	-0.2274	0.1993	-0.1211	0.2557	1	0.1036
防除回数	-0.0718	-0.0286	0.2041	-0.3755	-0.0129	-0.1019	0.1961	0.1036	1

*) 南, 東, 南東=1, 北東, 南西=2, 西, 北西, 北=3として数値化

**) 粗=1, 中=2, 密=3として数値化

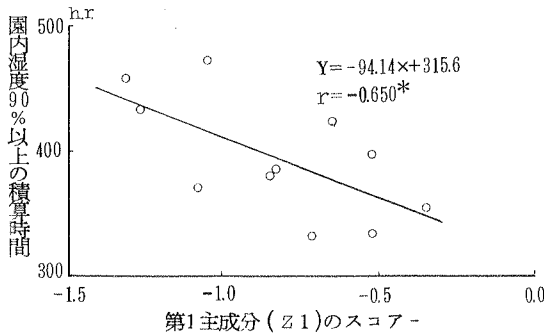
***) 弱=1, 中=2, 強=3として数値化

第10表 各主成分の固有ベクトル，固有値

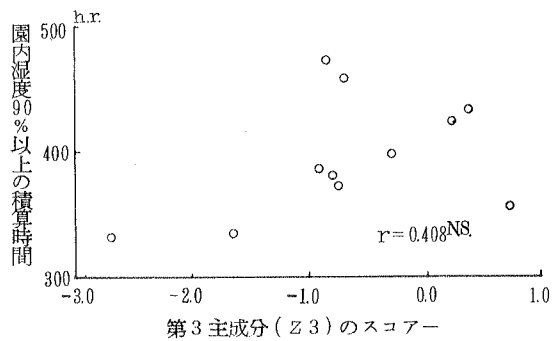
	要 因	主 成 分				
		Z 1	Z 2	Z 3	Z 4	Z 5
固 有 ベ ク ト ル	樹 令	0.1966	-0.4851	-0.1339	-0.3850	0.3654
	方 位	0.4379	-0.2616	0.3548	0.2755	-0.0652
	傾斜度	-0.3535	-0.1022	0.3991	-0.0804	0.4789
	標 高	0.5416	-0.0784	-0.1315	-0.1939	-0.2049
	本 数	0.0500	0.1158	-0.6150	0.4155	-0.0132
	粗 密	0.3992	-0.0061	0.1251	0.5370	0.5241
	樹 勢	-0.0406	-0.6867	-0.0153	0.0108	-0.3395
	草 刈	-0.2641	-0.3485	-0.4968	0.1094	0.3338
防 除	-0.3436	-0.2706	0.1971	0.5078	-0.2991	
固 有 値		2.109	1.443	1.380	1.058	0.784
寄 与 率		23.43	16.03	15.33	11.76	8.71
累 積 寄 与 率		23.43	39.46	54.80	66.56	75.27

第11表 各主成分の因子負荷量

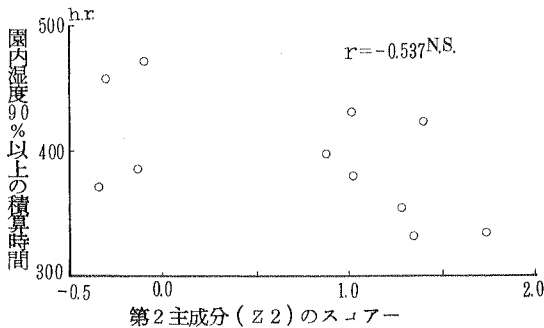
要 因	主 成 分				
	Z 1	Z 2	Z 3	Z 4	Z 5
樹 令	0.2855	0.05826	-0.01573	-0.3960	0.3235
方 位	0.6359	0.03142	0.4167	0.2834	-0.0577
傾 斜 度	-0.5134	0.01227	0.4688	-0.0827	0.4238
標 高	0.7864	0.00942	-0.1545	-0.1995	-0.1814
本 数	0.0726	0.01391	-0.7224	0.4275	-0.0117
粗 密	0.0726	0.00073	0.1470	0.5533	0.4639
樹 勢	-0.5797	0.08249	-0.0180	0.0112	-0.3005
草 刈	-0.0589	0.04186	-0.5836	0.1126	0.2955
防 除	-0.3835	0.03250	0.2316	0.5223	-0.2648



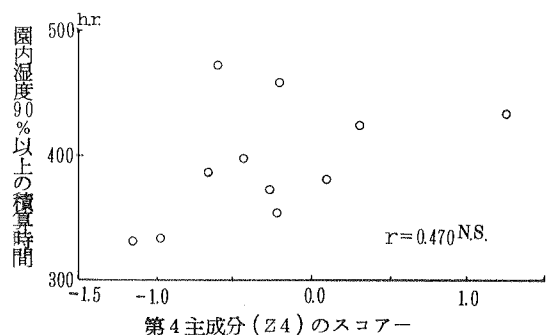
第3図 第1主成分と園内湿度の相関



第5図 第3主成分と園内湿度の相関



第4図 第2主成分と園内湿度の相関



第6図 第4主成分と園内湿度の相関

第12表 汚染果率と第1主成分およびボルドー液散布回数との重回帰

回 帰 式	係 数 の t 検 定		重相関係数	寄与率
	X ₁	X ₂		
Y = -1.577 X ₁ + 6.01 X ₂ + 18.39	-2.315*	2.568*	0.535	28.7

Y : 樹冠上部の汚染果率を逆正弦変換した値
 X₁ : 第1主成分のスコア
 X₂ : ボルドー液散布回数

第1主成分から第4主成分までが、固有値1.0以上の値をもち、この4要因の累積寄与率は66.6%であった。この第1主成分から第4主成分のスコアを園内湿度の指標として用いることができるかどうかを検討するため、「重点調査」データの条要因の値から、各主成分のスコアを算出し、10月の園内湿度90%以上の積算時間との相関を第3図から第6図に示した。統計的に有意な相関のみられたのは第1主成分で、関係式は下のとおりであった。

$$Y = -94.14 X + 315.6 \dots\dots\dots \textcircled{3}$$

(ただし、Y=10月の園内湿度90%以上の積算時間、X=第1主成分のスコア)

次に、「一般調査データの43園について、第1主成分のスコアおよびボルドー液散布の回数の汚染果率に対する回帰を重回帰分析によって求めた。ボルドー液散布回数は、無散布=0、散布=1とし、1976、77両年の平均値を用い、汚染果率は樹冠上部における両年の平均汚染果率を逆正弦変換した値を用いた。得られた回帰式は下のとおりであり、統計的に有意であった。

$$Y = -1.577 X_1 + 6.01 X_2 + 18.39 \dots\dots\dots \textcircled{4}$$

(ただし、Y=汚染果率を逆正弦変換した値、X₁=第1主成分のスコア、X₂=ボルドー液散布回数)

この④式に③式を代入し、汚染果率に対する10月の園内湿度90%以上の積算時間とボルドー液散布回数の回帰式を求め、下式を得た。

$$Y = 0.017 X_1 + 6.01 X_2 + 13.11 \dots\dots\dots \textcircled{5}$$

(ただし、Y=樹冠上部の汚染果率を逆正弦変換した値、X₁=10月の園内湿度90%以上の積算時間、X₂=ボルドー液散布回数)

考 察

1. 園内湿度と汚染果

カキの汚染果発生が、園の多湿条件下で多いことは、以前から生産者など関係者から経験的に指摘されていた

し、実験的にも裏づけられている^{2, 13)}。本報告においても、汚染果発生の説明要因としては、ボルドー液散布とともに、園内湿度が大きいことを明らかにできた。

この園内湿度の指標として秋期の相対湿度90%以上の積算時間を用いることが有効であることは浜地らの指摘したとおりである²⁾。

園内湿度が汚染果発生に関与する時期については、実験Iでは11月、実験IIでは10月と、ずれがみられ、いずれの時期の影響が大きいかを断定するにはいたらなかったが、一応、10月から11月にかけての高湿環境下で汚染果が発生すると考えてさしつかえなからう。

①式、②式および⑤式に表わされた、汚染果発生と園内湿度90%以上の月積算時間との量的関係は、月積算時間100時間の増加によって汚染果率が1.7~9.1%増加することを示している。これを単純平均すれば、園内湿度90%以上の月積算時間100時間の増加による汚染果率の増加は5.4%±3.7%である。

2. ボルドー液散布と汚染果

カキの汚染果とボルドー液との関係は早くから指摘され、浜地らによる詳細な報告もある^{3, 4, 5, 6)}。本報告においても、現地調査の結果でも、「成績書」データの解析の結果でも、ボルドー液散布による汚染果の発生増加は顕著である。

ボルドー液散布と汚染果発生の量的関係は、①式および⑤式に示され、ボルドー液散布1回ごとに増加する汚染果率は6~16%である。この値は、園内湿度90%以上の月積算時間が180時間増加することに匹敵する。「重点調査」データにおける10月の園内湿度90%以上の積算時間の2か年間での最大園と最少園の差が150時間に満たないことなどからみても、汚染果発生要因としてはボルドー液散布が第1要因であることが明らかである。

ボルドー液散布園においては、浜地らが指摘したように⁶⁾、果面上の銅イオンが果皮の黒変(汚染)に直接的に作用しているとみられる。しかし、「重点調査」データにみられるように、ボルドー液を全く散布していない園でも汚染果の発生はみとめられることから、ボルドー液無散布園においても、銅イオンと同じように果皮の黒変をひき起す作用をする物質が存在することが考えられる。ボ

ルドー液無散布園において果皮の黒変に直接的に関与する要因の解明は，今後の重要な課題であろう。

3. 園内環境と汚染果

林の数量化I類による園の環境要因10指標と汚染果率との重相関係数は，樹冠上部の場合で0.815，樹冠下部の場合で0.771であり，樹冠上部ではほぼ満足すべき精度といえる。樹冠下部での精度が劣ったのは，標高，方位，園の粗密という要因の影響が，樹冠下部では減殺されるためであろうと考えられる。

汚染果率に対する関与の程度の大きかった標高および方位については，園内湿度要因との関連がかなり大きいと考えられるが，これらの要因は同時に昼夜の温度較差や日照条件とも密接に関連しているはずである。園内環境は主に湿度要因から解析されてきたが，今後はさらにこれらの角度からも解析をすすめる必要がある。

園の粗密については，園内湿度が低位であるとみられる粗植園で汚染果率が高かったが，この理由としては次の二つが考えられる。一つは，この解析に用いた「成績書」のデータは，黒点隆起状汚染など，病原性タイプの汚染果も含んでおり，とくに黒点隆起状汚染果は果実の陽光面に多くみられるという小田らの報告¹¹⁾などからみて，このタイプの汚染果が日当たりがよく，日焼け果も生じやすい粗植園で多発したという解釈である。この見方は，薬剤散布の回数が多い園で汚染果率が低いという解析の結果の説明にもつながる。

他の一つは，汚染果と直接関係のある要因はカキ果面の露滴量あるいは露滴の付着時間であって，空気中の湿度は，その露滴にかかわる間接的要因ではないかという考え方を前提にするものである。これを前提にすれば，露滴量は夜間のカキ果面からの放冷の大きさにも左右されるはずであり，この夜間の放冷は園の遮へい物の少ない粗植園でむしろ大きいので，粗植＝露滴多＝汚染多発という関係が成り立つと考えられるのである。

果面上に存在する銅イオンなどの汚染物質が，果皮の黒変に関与する過程では，これらの物質が何らかの方法で果実内に侵入しなければならず，その侵入を助ける媒体としては果面上の露滴を考えるのが合理的である。

いずれにせよ汚染果対策として園の環境条件を整備する場合，いたずらに風通しのよい粗植園を作るのではなく，以上の点を考慮して適度に遮へいされた園にする必要があるように思われる。

4. 多変量解析法の有効性

電算機の普及に伴い多変量解析法を利用した研究が盛んとなりつつあるが，園芸学の分野では，この種の解析法の利用はまだ多くはない。1つの目的変数に対する

多数の説明変数の影響の大きさを解析する方法としては，従来重回帰分析方法が多く用いられてきたが，本報告のデータのように，方位など質的変数を含むデータの解析には数量化I類の有効性が認められ^{8, 14)} 要因効果の解析精度も重回帰分析法より高い。

多数の変数の中に共通して存在すると考えられる一つないし複数の指標を抽出する方法として主成分分析法を利用する試みも，長谷⁷⁾岡田¹²⁾などの例もあるものの，園芸学分野では極めて少ない。本報告では環境要因データから園内湿度指標を抽出しようとした。得られた主成分は，もとのデータを総合化する程度が必ずしも大きくなかったことなど不十分な点もあったが，園内湿度の測定されていないデータ群から園内湿度指標を推定しようとする目的は，ほぼ達せられたといえるであろう。

摘 要

カキの汚染果発生に関与する環境要因の影響を量的に把握するため，産地富有園を対象とした現地調査および文献データにより計量的解析を行なった。

1. 汚染果の発生は，10月から11月にかけての園の多湿条件下で多かった。園内湿度の指標としては相対湿度90%以上の月積算時間が有効であり，この積算時間100時間の増加によって汚染果率は平均5.4%増加した。
2. ボルドー液の散布は汚染果の発生を顕著に助長した。ボルドー液散布1回につき，汚染果率は6～16%増加した。
3. 園の環境要因の中で汚染果に対する影響の大きかった要因は標高，園の方位，ボルドー液の散布，園の粗密，薬剤散布回数などであった。

謝 辞

本試験を遂行するにあたり，終始適切な御指導を賜わった，現大阪府立大学福長信吾博士，資料提供など，種々御便宜をはかっていただいた，農林水産省近畿農政局五条吉野開拓建設事業所および奈良県五条吉野農地開発事務所，ならびに主成分分析について御教示いただいた現農林水産省北海道農試福田重光氏の各位に対し，深く感謝の意を表するものである。

引用文献

1. 園芸試験場安芸津支場 1972. 柿汚染果に関する研究経過および機構と対策：1-94.
2. 浜地文雄，恒遠正彦，森田 彰，角 利昭 1973. カキの汚損果防止に関する研究。(第1報)汚損果常習多発園の発生実態と微気象について。園芸学会昭和48

- 年度(秋)発表要旨：28 - 29
3. ————1973. ————(第2報)石灰ボルドー液の散布回数と汚損果の発生について. 園芸学会昭和48年度(秋)発表要旨：30 - 31
4. ————森田 彰, 恒遠正彦 1973. ————(第3報)農薬の通年散布と汚損果の発生について. 園芸学会昭和48年度(秋)発表要旨：32 - 33
5. ————恒遠正彦, 森田 彰, 角 利昭 1974. ————(第4報)石灰ボルドー液の散布時期と汚損果の発生. 園芸学会昭和49年度(秋)発表要旨：110 - 111
6. ————栗山隆明 1975. ————(第5報)ボルドー液の組成および銅害と発生. 園芸学会昭和50年度(春)発表要旨：74 - 75
7. 長谷嘉臣 1975. 主成分分析による葉分析結果からの樹冠肥大に関する指標の抽出. 園芸学会昭和50年度(秋)発表要旨：100 - 101
8. 河口至商 1973. 多変量解析入門 I. 森北出版株式会社：35 - 100
9. 奈良県五条吉野農地開発事務所 1976. 昭和51年度柿汚染果発生調査成績書
10. ————1977. 昭和52年度柿汚染果発生調査成績書
11. 小田道宏, 小玉孝司 1979. カキ黒点型汚染果に關与する炭そ病菌ほかとその発生生態. 奈良農試研報10：53 - 63
12. 岡田長久 1974. 主成分分析によるミカン産地の層化について. 静岡柑試研報10：19 - 46
13. 杉本好弘, 黒田喜佐雄, 保井昭男, 福長信吾 1977. カキの汚染果に関する研究. 園芸学会昭和52年度(春)発表要旨：18 - 19
14. 田中寛康 1976. カキの汚染果の種類とその原因. 植物防疫30：448 - 452
15. 渡 正堯, 岸 学 1981. 多変量解析プログラム集. 工学図書株式会社

Summary

The present study was carried out to clarify the effect of environmental factors on the black spots of Japanese persimmons. In order to analyze it numerically a microcomputer was used.

1. The condition of high humidity from October to November and the application of Bordeaux mixture increased black spots on the fruits very much.

The following regression formula was obtained from above casual relation:

$$Y = 0.055X_1 + 16.43X_2 + 10.27$$

Y = the ratio of fruits that developed black spots

X_1 = the total hours from October to November when relative humidity was over 90 %

X_2 = frequency that bordeaux mixture was applied

2. Among the other environmental factors the black spots were influenced by the altitude, the orchard aspect, the application of the Bordeaux mixture and the frequency of other pesticides.