

# パソコンを利用した線形計画法による低コスト人工飼料の開発

誌名	群馬農業研究. B, 蚕業
ISSN	09104127
著者	町田, 順一
巻/号	6号
掲載ページ	p. 45-50
発行年月	1989年12月

## パソコンを利用した線形計画法による低コスト人工飼料の開発

町 田 順 一

( 蚕業試験場 )

### Studies on Linear Programing for Low Cost Artificial Diets of Silkworm Larva by Means of Personal Computer Programs

Jun-ichi MACHIDA

(Gunma Sericultural Experiment Station)

#### 要 旨

人工飼料の低コスト化のための合理的な組成改善法として、パソコンを利用した線形計画法による配合設計方法の検討を行い、さらにその方法を利用して広食性蚕用飼料改良を試みた。その結果、大型コンピュータによってのみ設計が可能であった線形計画による人工飼料の配合設計をパソコン (N 88-BASIC) によって実用的に設計できることを見出した。また、広食性蚕用人工飼料として桑葉粉末量添加量および安価な畜産飼料原料 (脱脂米糠、菜種粕、マイロ) の利用価値について検討した結果、蚕に必要なとされている栄養要求量を満たす条件の中で桑葉粉末含量としては、1~2 令では 5% 含むことにより実用的な飼育成績が得られた。また、3 令以降では 3 令を 2.5~5.0%、4 令を 0% に漸次低減する方法を用いると桑葉粉末量をさらに削減することが可能であった。今回供試した畜産飼料原料の飼料価値としてはどれも 6% 程度の添加が可能であった。一方、線形計画法の利用は低コスト化をはかるため以外にも、蚕の栄養要求量および原料の飼料価値を適切に求める方法としても利用が考えられた。

#### 結 言

人工飼料の低コスト化のための合理的な組成改善として、最近、線形計画法を用いた組成改善が実施されている。この線形計画法は、蚕に必要な栄養要求量を満たし最も安価な原料配合割合を見いだす方法で、畜産分野では飼料の配合割合の設計にほとんどこの方法を用いている (配合飼料講座、1984 ; 有吉、1983)。蚕の人工飼料の利用では、堀江ら (1980, 1983) による報告があるが稚蚕人工飼料育では、飼料の食い付き面から安価な畜産飼料原料等の利用が

著しく低いため線形計画法による組成改善効果が少なかった。しかし、畜産飼料原料等を含む人工飼料でもよく食べる広食性蚕の出現によって線形計画法利用による 1~4 令飼料の開発が行われている (柳川ら、1987, 1988, 1989 ; 渡辺ら、1988 ; 鈴木ら、1988 ; 宮沢ら、1989)。この線形計画法の計算は主として大型コンピュータによる実例が多く、実用的な見地から一般に普及しているパソコンによって計算する方法を検討した結果、ニワトリ用の飼料配合設計に報告されているプログラム (大塚ら、1983) を N 88-BASIC で実行できるように一部訂正し、すでに大型コンピュータで報告

されている飼料設計データを入力して計算した結果、同じ最適配合割合が得られた。今回は、このプログラムによって広食性蚕を主に低コスト飼料改善を行った概要について報告する。なお、本試験を行うに当り助言および本稿を校閲された蚕業試験場長矢口宣明、蚕種飼料部人工飼料課長宮沢福寿各位に対して感謝の意を表す。また、本試験を行うに当り大型コンピュータを利用した線形計画法による人工飼料設計の手法について、ご指導ご助言をいただいた蚕糸・昆虫農業研究所人工飼料研究室長柳川弘明氏に謹んで御礼申し上げる。

本報告の一部は日本蚕糸学会関東支部講演会(町田ら、1989)に発表した。

### 材料および方法

今回用いた線形計画法のプログラム(大塚、1983)概要は、2本の独立したプログラムで構成されている。プログラム1は、飼料原料の各成分含量をデータファイルに格納する(成分名、原料名の登録訂正、成分含量の登録訂正、原料価格の入力)。

プログラム2は、プログラム1によって格納されているデータを利用して各成分における蚕の栄養要求量および原料の使用制限量を入力して飼料の配合設計を行うプログラムである。プログラムを実行して、最終的には最低価格の配合割合とその価格および設計条件の違いが出力できる。

飼料設計に当たっては原料の成分値、価格および蚕に必要な栄養要求量についての条件は柳川ら(1988)によって報告されている値を用いた。また、原料は80~100メッシュパスになるように粉碎して使用した。

線形計画法の計算に使用したパソコンはセイコーエプソン株式会社製PC-286Vで、飼料の最適配合割合を計算するのに要した時間は、約7分程度であった。

供試蚕は、広食性蚕NS82A×CS26Aを用い、飼育は1令29℃、2令28℃、3令27℃、4令26℃で湿度は食餌中を80~85%、眠中は40~60%を目標にし、光線条件は給餌等の作業時間以外は暗条件として飼育を行った。

### 試験結果

#### 1. 桑葉粉末添加量の異なる飼料設計と広食性蚕および現行交雑種の飼育成績

広食性蚕用飼料の低コスト化をはかるために高価な桑葉粉末量を0~10%に低減した飼料を線形計画法(LP法)によって設計し、広食性蚕を飼育するのに必要な最低桑葉粉末含量の検討を行った。

第1表は、主な飼料原料の使用制限条件を脱脂大豆 $\leq$ 35%、脱脂米糠 $\leq$ 40%、トウモロコシ $\leq$ 40%として桑葉粉末含量を変えた最低価格配合割合およびその飼料価格を示した。それによると桑葉粉末含量が少なくなるほど無機塩量、脱脂大豆粉末、脱脂米糠量が若干増し、ビタミンB群も桑葉粉末含量により添加量が若干異なった。また、飼料価格は桑葉粉末含量が5%を下回ると1kg乾物当り300円以下となり、桑葉粉末含量が低いほど安い価格であった。

第1表飼料で広食性蚕および現行蚕品種(錦秋×鐘和)を飼育した結果(第2表)、掃立11日目の広食性蚕発育状況では、桑葉粉末を含まない0%区で生存率が低く飼育経過も遅延する結果であった。しかし、桑葉粉末が5%含まれると実用性の高い飼育成績が得られた。一方現行蚕品種の飼育では、最も桑葉粉末含量の高かった10%区においても飼育成績は悪く、さらに桑葉粉末含量を高める必要があると思われた。

次に広食性蚕の令別飼料の検討として、最も桑葉粉末量の低減のはかれる飼料の検討を行った結果を第3表に示した。今回の設計飼料では

町田：パソコンを利用した線形計画法による低コスト人工飼料の開発

掃立24時間の毛振り率から1令飼料としては5%以上の桑葉粉末含量の必要性が認められた。また、3令以降の桑葉粉末低減条件の中では3令飼料としては2.5%以上の桑葉粉末量の必要性が認められ、今回供試した試料では1~2令5%、3令2.5~5.0%、4令0%の組み合わせが飼育成績の結果から最も桑葉粉末量を少なくできる方法であることがわかった。

第1表 L P 飼料中の桑葉粉末添加量の異なる飼料組成と飼料価格

桑葉粉末=0%				
脱脂大豆 <=35% 桑葉粉末=2.5% 桑葉粉末=5.0% 桑葉粉末=10.0%				
脱脂米糠 <=40%				
	%	%	%	%
桑葉粉末	—	2.5	5.0	10.0
脱脂大豆	29.5	29.0	28.5	27.6
脱脂米糠	35.9	34.0	32.1	28.3
トウモロコシ	20.0	20.0	20.0	20.0
無機塩混合	2.17	2.07	1.97	1.75
ビタミンB群	0.18	0.18	0.18	0.26
ビタミンC	0.5			
クエン酸	3.5			
大豆油・ステロール	2.1	12.25	12.25	12.25
カラギーナン	5.0			
防腐剤	1.14			
合計	100.00	100.00	100.00	100.00
価格(円)/1kg	253.37	267.56	281.76	310.20

第2表 桑葉粉末含量を変えた飼料の設計と広食性蚕および現行交雑種(錦秋×鐘和)の飼育成績(主な飼料原料の使用制限:脱脂大豆<=35%、脱脂米糠<=40%、トウモロコシ=20%) H 1.8

蚕品種	桑葉粉末 添加量	乾物 飼料価格	掃立11日目発育状況					全頭数	
			4令	3眠	3令	2令	合計	平均重	平均重
	%	kg/円	頭	頭	頭	頭	頭	mg	mg
広食性蚕 (NS82A×CS26A)	10.0	310.2	8	80	12	0	100	249	247
	5.0	281.8	10	75	15	0	100	279	271
	2.5	267.6	20	63	15	0	98	241	237
	0	253.4	8	22	58	3	91	204	146
現行交雑種 (錦秋×鐘和)	10.0	310.2			79	11	90		94
	5.0	281.8			12	62	74		38
	2.5	267.6			8	22	30		30
	0	253.4					0		—

第3表 LP飼料中の桑葉粉末添加量の異なる飼料における広食性蚕 (NS82A×CS26A) の飼育成績  
2) 1~4令飼育における各令桑葉粉末添加量の影響

桑葉粉末添加量			掃立24時間 毛振り率	掃立11日目発育状況					掃立16日目発育状況				
1~2令	3令	4令		4令	3眠	3令	生存率	平均蚕重	5令	4眠	4令	生存率	平均蚕重
%	%	%	%	%	%	%	%	mg	%	%	%	%	g
10	10	0	100	8	80	12	100	270		75	25	100	1.35
10	5	0	100	8	72	18	98	254		45	50	95	1.16
10	2.5	0	100	23	57	15	95	253		43	52	95	1.16
10	0	0	100		58	32	90	228		75	10	85	1.32
5	5	0	100	10	75	15	100	271		80	15	95	1.46
5	2.5	0	100	23	57	20	100	237		78	22	100	1.21
5	0	0	100	17	48	23	88	225	2	73	10	85	1.23
2.5	2.5	0	93	20	63	15	98	237	2	80	13	95	1.12
2.5	0	0	97	25	60	3	88	227		75	13	88	1.05
0	0	0	75	8	23	60	90	146	2	28	48	78	0.68

2. 菜種粕、マイロ等畜産飼料原料を用いた飼料設計と広食性蚕 (NS82A×CS26A) の飼育成績

ウモロコシ、脱脂米糠等の畜産飼料原料を主に利用されているが、今回は、菜種粕、マイロなどの原料を用い、添加量を6%、12%とした飼料組成を線形計画法を用いて求め、その飼料

第4表 各種畜産飼料原料を用いた飼料設計と広食性蚕 (NS82A×CS26A) の飼育成績

(主な飼料原料の使用制限量: 桑葉粉末=8%、脱脂大豆<=40%、トウモロコシ<=35%) H 1.9

原料名	脱脂米糠=6	脱脂米糠=12	菜種粕=6	菜種粕=12	マイロ=6	マイロ=12
	%	%	%	%	%	%
桑葉粉末	8.0	8.0	8.0	8.0	8.0	8.0
脱脂大豆	37.4	31.6	37.0	31.6	36.3	34.4
脱脂米糠	6.0	12.0	—	—	—	—
菜種粕	—	—	6.0	12.0	—	—
マイロ	—	—	—	—	6.0	12.0
トウモロコシ	35.0	35.0	35.0	35.0	35.0	35.0
無機塩混合	1.2	1.1	1.7	1.3	2.3	2.3
ビタミンB群	0.4	0.2	0.2	0.2	0.3	0.3
ビタミンC	0.5					
クエン酸	3.5					
大豆油	1.8					
フィトステロール	0.2					
造形剤	5.0					
防腐剤	1.1					
合計	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0
価格(円)/1kg	321.0	309.1	325.2	314.2	329.9	327.1

で広食性蚕を飼育し、その成績から原料の飼料価値を検討した。

その結果、線形計画法で求めた飼料配合割合は第4表の通りで主な原料の制限量として桑葉粉末＝8%、脱脂大豆く＝40%、トウモロコシく＝35%の条件下で配合割合を求めた。

各畜産飼料原料とも添加量の多い12%区では、

添加量の増量分だけは脱脂大豆粉末量が低減し無機塩、ビタミンB群でも原料によって添加量にわずかの差が見られた。一方、価格的には畜産原料の添加量が多いほど価格は若干安く、原料ではわずかではあるが、脱脂米糠の利用が最も安い価格で次いで菜種粕、マイロの順であった。

広食性蚕の飼育結果では(第5表)、脱脂米糠、菜種粕は添加量の多い12%区で飼育成績が劣り6%の添加量が優れた。マイロでは他の原料よりやや劣る結果であった。

## 考 察

線形計画法による蚕の人工飼料の配合設計については堀江ら(1980, 1983)、柳川ら(1988, 1989)によって報告されているが、その計算はFORTRNによる、安藤(1981)のプログラムを利用し、大型コンピュータで行われている。しかし、実用的見地からこれらの計算を汎用性の高いパソコン利用によって可能にできないか検討した結果、ニワトリ用の飼料の配合設計に利用されているBASICプログラム(大塚1983)を一部訂正して、蚕の人工飼料の設計を試み、最低価格配合割合をパソコン利用によっても算出することが可能になった。

第5表 各種畜産飼料原料を用いた飼料設計と広食性蚕(NS82A×CS26A)の飼育成績

(主な飼料原料の使用制限量: 桑葉粉末＝8%、脱脂大豆く＝40%、トウモロコシく＝35%) H 1.9

原料名	添加量	乾物		3眠時(掃立11日目)		4眠時(掃立16日目)	
		飼料価格	3眠体重	遅眠蚕歩合	4眠体重	遅眠蚕歩合	
	%	円/kg	mg	%	mg	%	
脱脂米糠	6.0	221.0	212	9.4	1,024	0	
"	12.0	309.3	188	30.0	918	35.5	
菜種粕	6.0	325.2	211	0	903	6.0	
"	12.0	314.2	171	5.9	848	28.5	
マイロ	6.0	329.9	198	11.8	882	29.5	
"	12.0	327.1	220	10.0	873	26.7	

飼料を設計するのに要した計算時間は約7分間であり、やや計算時間がかかるものの、最低価格配合割合を出力する外にも、配合された飼料成分量、設計条件との違い、シンプレックス表等が出力され実用的飼料組成改良に十分利用が可能であった。

また、BASICプログラムを利用して、広食性蚕用飼料組成の検討を行った結果、柳川ら(1988)に示されている蚕に必要なとされている栄養要求量を設計条件に加え、桑葉粉末含量の影響および数種の畜産原料の飼料価格について調べた。

その結果によると広食性蚕用飼料の桑葉粉末含量としては、1～2令5%(対乾物当り)、3令5.0～2.5%、4令0%に漸次低減することによって、高価な桑葉粉末量を削減できる結果が得られた。なお、広食性蚕用飼料として柳川ら(1989)も5%程度の桑葉粉末添加量が実用的であることを指摘している。

脱脂米糠、菜種粕、マイロ等畜産飼料原料を6%、12%含む飼料を設計し各原料の飼料価値を調べた結果においては、脱脂米糠、菜種粕の6%添加区が優れた飼育成績を示した。

しかし、今回の試験ではマイロは若干劣る成績を示したが6%程度の利用は可能と考えられた。

線形計画法利用によって人工飼料の組成改良

を合理的に行えることを示したが、一方、蚕の栄養要求量を求める手段としてもその利用価値が高いものと考えられる。つまり一栄養成分を変えても他の栄養成分のバランスおよび量が一定に保たれ、求めようとする栄養素のみの影響を知ることが可能である。さらに、摂食の影響を含めた原料の飼料価値を調べる場合にも、蚕が必要とする栄養要求量を一定に加えるように

設計できるため、従来のような試験原料の飼料価値を調べる場合、栄養に影響ない原料を増減させ価値を求めた方法をとっていたが、その方法に比べ、その原料の飼料価値を適切に求めることが可能である。このようなことから、今後は線形計画法の手法を利用して、さらに、発育が良好になる栄養要求量を各令ごとに調べて広食性蚕の実用飼料の検討を行いたい。

## 引 用 文 献

- 有吉修二郎(1983): アミノ酸飼料学、PP193~203、チクサン出版
- 配合飼料講座編集委員会(1984): 配合飼料講座、上 巻設計編(三版)、PP465~482、チクサン出版
- 堀江保宏、山本尚義、柳川弘明、渡辺喜二郎、中曾根正一(1980): 日蚕雑 **49**、2、100~106
- 堀江保宏、渡辺喜二郎(1983): 蚕試報 **29**、2、259~283
- 町田順一、宮沢福寿、柳川弘明(1989): 日蚕関東講 要 **40**、37
- 宮沢福寿、山口孝根、小河原一憲、真浦正徳、柳川弘明(1989): 日蚕講要 **59**、42
- 大塚勝正、近藤 恭、石本佳之、広瀬一雄(1983): 愛知農総試報 **15**、471~479
- 鈴木清、渡辺喜二郎、中村匡利、柳川弘明(1988): 日蚕関東講要 **39**、45
- 渡辺喜二郎、柳川弘明(1988): 日蚕講要 **58**、6
- 柳川弘明、渡辺喜二郎、中村匡利(1987): 日蚕関東講要 **38**、23
- 柳川弘明、渡辺喜二郎、中村匡利(1988): 蚕試報、**30**、4、569~588
- 柳川弘明、渡辺喜二郎、中村匡利(1989): 日蚕雑、**58**、5、401~406