

重金属類の蚕桑におよぼす影響1

誌名	日本蠶絲學雜誌
ISSN	00372455
著者	三好, 健勝 宮沢, 福寿 清水, 治
巻/号	40巻4号
掲載ページ	p. 323-329
発行年月	1971年8月

重金属類の蚕桑におよぼす影響

I. 飼料中のカドミウムおよび亜鉛が 家蚕に及ぼす発育段階別の影響

三好健勝・宮沢福寿・清水 治

前橋市総社町・群馬県蚕業試験場
(1970年12月23日受理)

近時土壌や桑が人為的排出物に由来する重金属に汚染される機会が増大しつつあり、それらが主要因の一つをなしたと推測される養蚕の被害が発生している。重金属類は一般的には生物に対してごく少量で毒性をもつから蚕や桑に対しても有害となることは当然予測される。例えばこれらは酵素の阻害剤となることは良く知られており、蚕に関しては浜野・向山²⁾は消化液のタンパク分解酵素の阻害を、また長谷川³⁾・吉武¹⁰⁾は注射による化性への影響を報じている。しかし養蚕業という基盤に立つならば、環境要因としてのそれらの存在と蚕または桑との生命全体としての対応関係の解明がまず必要である。そのような視点で桑に対しては高岸ら⁶⁾による土壌中の金属元素による障害および異常吸収についてがある。また蚕に対しては群馬蚕試⁷⁾、さらに本研究が完了してから発表された杉山⁸⁾、重松ら⁷⁾による報告もあるが、それらは実験方法が添食または経口給与などであったり、また5齢だけの試験であったり、さらにデータが乏しく、現実問題の解決のためには不満足のものである。

著者らは究極には工場などによる環境汚染防止の資となり、また暫定的な処置ではあるが食用作物に不適な農地においての養蚕可能な汚染限界点の判定を目指し、重金属類の蚕桑に及ぼす影響に関し、生態学的な捉え方を主軸とする一連の研究を行ないつつあり、一応の成果を得たので、以下順次報告する。

本研究をすすめるに当たり、研究条件設立のために一方ならぬご尽力を戴いた前群馬県蚕業試験場長斎藤忠一氏、同場長宮沢鉄雄氏に深謝する。

材料と方法

第1表に示した組成の人工飼料中に Cd または Zn を元素として目的量を添加した飼料を作り、蚕に給与、飼育した。なお基本飼料中の Cd 含量は 0.1ppm以下、Zn は 10ppm 以下で添加量に比べ無視し得る量であった。

薬品は両者とも $-SO_4$ 塩・特級を用い、これらの塩は少量の純水で各々目的濃度とし、その一定量を防腐液に加え、飼料の最終目的濃度を設定した。

第1表 人工飼料の組成

原 料	量 %
桑 葉 粉 末	35.0
脱脂大豆粉末	34.2
ミルクカゼイン	3.2
砂 糖	3.2
ブ ド ウ 糖	2.7
コーンスターチ	4.3
ビール酵母	4.3
無機塩混合物	1.0
オレアンドマイシン混合物*	0.5
ビ タ ミ ン C	1.0
ク エ ン 酸	1.6
テレフタル酸	1.0
寒 天	8.0
合 計	100.0
純 水	乾物飼料 10g あたり 24ml
防 腐 剤	添加

* 大豆粉末とオレアンドマイシンを 240:1 に混合したもの

本研究の一部は昭和45年12月2日、総合助成、試験成績検討会において報告した。

第2表 飼料中の Cd 含量と発育・生長との関係

① ② Cd 添加濃度 (対乾物当り)	1 齢				3 齢					5 齢	
	6 日後				7 日後					4 日後	
	1 齢	1 眠	2 齢	平均重	3 齢	3 眠	4 齢	4 眠	平均重	生存数	平均重
ppm	頭			mg	頭				mg	頭	g
0		1	37	14.1			37	3	654	20	3.86
1		1	39	13.5			35	5	765	20	4.15
2			40	12.0			34	6	715	20	3.96
5		1	37	15.1			37	3	744	20	4.23
10		1	39	16.1			36	3	749	20	4.04
25		3	37	7.4			37	3	723	20	3.82
50	24	2	4	2.5	3		35		387	20	3.70
100	34			1.7	16	1	22		205	20	3.42
200	25			1.4	19				79	20	3.05
400	9			1.0	3				67	20	2.14
800	0			—	1				—	20	1.64

① 試験飼料給与開始時期 ② 調査日 註. 給餌は1日1回

重金属給与期間は次の三段階とした。すなわち1齢試験は掃立～上簇，3齢試験は3齢起蚕～上簇，5齢試験は5齢起蚕～上簇までそれぞれ試験飼料を連続給与した。非試験期間は第1表組成のみの無添加飼料を給与し，同一蚕座内で飼育をした。

供試頭数は1および3齢試験では40頭，5齢試験では雌雄各10頭ずつであった。

給餌回数は全齢を通じ1日1回。蚕品種は妙峰×麗月。全試験とも同一催青母集団から得られ，同一日に掃立てた。

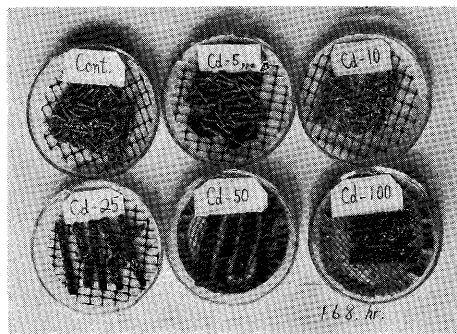
結 果

1. カドミウムの影響

1) 短期間後の影響

a) 1齢試験：第2表に示したように，Cd濃度が1～10ppmの範囲内では6日後の蚕の状態は対照との差は認められないが，25ppmになると生育，生長が明らかに遅れ，ぼらつきが出はじめた。50ppmでは障害が急に重くなり，6日後でも大半の蚕はまだ1齢のままだった。さらに濃度が高くなると障害が急激に重くなることは表に示した通りで，800ppmでは2日後に全部死亡した。この状態を第1図に示す。

b) 3齢試験：1～25ppmの範囲では，7日後において生育，生長が無添加の対照区に劣らないばか

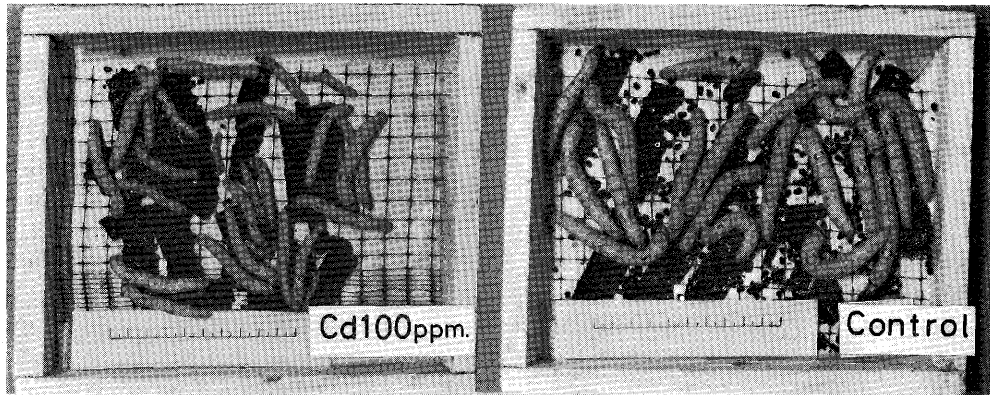


第1図 Cd 給与による生育，生長障害 —1 齢試験—

試験開始 168時間後，図中の数字は Cd 濃度 (ppm)

りか，生長量はやや大きい傾向すら示し，減蚕はなかった。しかし 50ppm で生長量は半減，100ppm では1/3以下と，50ppm 以上では顕著な障害を受けた。また経過の遅れも目立ち，200ppm 以上では3眠になった蚕は1頭もなく，それ以上では大部分の蚕は中毒死していた。

c) 5齢試験：4日後では1～10ppm区は劣らないばかりか，3齢試験と同様に生長量がやや大となる傾向があった。100ppmを越えると，死蚕はまだ出ていなかったが，生長量は濃度と共に段階的に減少し，400ppm 以上では極端に劣った。



第2図 Cd 給与による経過のばらつき状況—3 齢試験—Control は上簇1日前

第3表 飼料中の Cd 濃度と経過, 化蛹歩合, 繭質との関係

① Cd添加濃度 (対乾物当り)	② 終熟日数			* 化蛹歩合 %			繭重 g			繭層重 mg		
	1 齢	3 齢	5 齢	1 齢	3 齢	5 齢	1 齢	3 齢	5 齢	1 齢	3 齢	5 齢
0 ppm	24	26	25	100	100	100	1.61	1.62	1.57	351	340	340
1	24	26	25	95	90	100	1.67	1.97	1.71	352	391	353
2	24	26	25	95	95	100	1.55	1.75	1.62	341	381	340
5	24	26	25	95	95	90	1.58	1.71	1.68	333	354	351
10	24	26	25	100	90	80	1.45	1.46	1.49	317	321	317
25	24	26	25	55	95	85	1.24	1.60	1.45	217	340	299
50		26	26	0	70	40		1.43	1.50		285	334
100		26	26	—	10	45			1.28			336
200				—	0	0						
400				—	—	0						
800				—	—	0						

① 調査項目 ② 試験飼料給与開始時期 * 対5 齢起蚕

Cd による蚕児の障害の特徴は、経過のばらつきが極端にひどくなることで、後述する Zn とはかなり異なる。その状態を第2図に示した。濃度が極端に高ければ1~2日で全部死亡するが、その場合も頭を振るなどの激しい動作はない。時には吐液もするが、一般的には動作が鈍くなり、尻を僅かに汚す程度でそのまま死んでいくことが多い。やや長期にわたる慢性死の場合は、前述したように先ず経過のずれがひどくなり、小さいものから順次死んでいくが、その集団の蚕はある段階に達すると、それまでにかかなり生長していた蚕も食餌を止めそれから2~3日位の短期間で死亡することが多かった。

2) 経過日数, 化蛹歩合および繭質への影響

a) 1 齢試験: 0~25ppm の範囲では24日で皆上

簇した。25ppm では5 齢起蚕に対する化蛹歩合は55%, 50ppm では0となった。それ以上の高濃度では5 齢起蚕に達した蚕すらなかった。繭重は10 ppm を越えると軽くなる傾向が明確になり、繭層重も同様であった。

b) 3 齢試験: 0~25ppm では終熟日数が何れも26日であった(この日数が1 齢試験より長いのは、供試母集団の3 齢起蚕までの飼育温度を下げたからである)。50ppm 以上では経過はやや遅れ、上簇も2~3日にわたるといようにばらつきも生じて来た。化蛹歩合も50ppm を境として判然と悪くなった。繭質も10ppm 以上では劣ったが、1~2 ppm では対照よりかえて重くなった。

c) 5 齢試験: 50ppm を越えると経過は少し遅

第4表 飼料中の Zn 濃度と発育、生長との関係

① ② Zn 添加濃度 (対乾物当り)	1 齢				3 齢				5 齢	
	6 日 後				7 日 後				4 日 後	
	1 齢	1 眠	2 齢	平均重	3 眠	4 齢	4 眠	平均重	生存数	平均重
0 ppm	頭	1	37	14.1	頭	37	3	654	20	3.86
5		3	35	8.5		40		700	20	4.30
10	1	1	36	11.4		37	3	718	20	3.84
25		3	37	10.7		38		616	20	4.35
50			34	11.1		40		583	20	4.11
100			39	11.9		39	1	623	20	4.18
200		2	33	8.4		33	7	728	18	4.43
400	4	3	31	7.4		38	1	654	20	4.40
800		3	37	8.5		38	2	559	20	3.52
1,600	3	2	32	6.7		40		405	20	3.12
3,200		11	28	5.3	1	37		242	20	2.88

① 試験飼料給与開始時期 ② 調査日

第5表 飼料中の Zn 濃度と経過、化蛹歩合、繭質との関係

① ② Zn 添加濃度 (対乾物当り)	終 熟 日 数			* 化 蛹 歩 合 %			繭 重 g			繭 層 重 mg		
	1 齢	3 齢	5 齢	1 齢	3 齢	5 齢	1 齢	3 齢	5 齢	1 齢	3 齢	5 齢
	0 ppm	24	26	25	100	100	100	1.61	1.62	1.57	351	340
5	25	25	25	95	100	95	1.88	1.60	1.61	336	347	340
10	25	25	25	95	100	100	1.77	1.59	1.67	389	338	335
25	24	25	25	90	90	100	1.72	1.69	1.78	360	353	377
50	26	25	25	100	90	95	2.00	1.60	1.70	407	331	339
100	24	26	26	100	100	95	1.75	1.68	1.74	379	345	354
200	26	26	25	95	80	75	1.46	1.70	1.75	304	307	341
400	25	26	25	95	90	95	1.56	1.54	1.79	288	282	297
800	25	27	26	80	90	95	1.32	1.59	1.54	219	222	259
1,600	27	28	27	80	95	85	0.90	1.30	1.49	104	138	219
3,200	30	30	27	45	30	20	0.70	0.86	1.44	49	64	200

① 調査項目 ② 試験飼料給与開始時期 * 対5齢起蚕

れ、化蛹歩合は極度に悪くなった。繭重、繭層重共に10ppm 以上では軽くなる傾向が見られ、例外的な数字もあるが、それらは死蚕が多く飼育頭数の少ない区であった。

2. 亜鉛の影響

1) 短期間後の影響

a) 1 齢試験：6日後では全区を通じて中毒死蚕は認められなかった（第4表での減蚕は逸失蚕による）。0~100ppm の範囲内では生育、生長に一定傾向の差は認めがたかったが、200ppm を越えると軽

くなりはじめ、濃度と共にその状態は強められた。

b) 3 齢試験および5 齢試験：両試験ともほぼ同様の結果であった。すなわち 0~400ppm の範囲では障害は認められず、むしろ体重増加の傾向がうかがわれた。800ppm を越えると生長障害が段階的に重くなることが示されたが、この期間内では中毒的死蚕は見られなかった。

2) 経過日数、化蛹歩合および繭質への影響

3 試験ともほぼ似た結果を示した。すなわち経過日数は 1600ppm 以上となると遅れがはっきりし、

3200ppm の場合、1 齢試験では 5～6 日、3 齢試験では 4～5 日、5 齢試験では 2 日遅れた。

化蛹歩合は 3 試験とも 3200ppm の場合のみ極端に悪くなった。ただ 1 齢試験では 800ppm 以上も僅かではあるが劣り、同試験では 5 齢起蚕までに 1600ppm で 13%、3200ppm で 20% の中毒死蚕があった。

繭重は 1 齢試験では 200ppm 以上、3 齢試験では 400ppm 以上、5 齢試験では 800ppm 以上から軽くなり始め、前 2 試験の 1600ppm 以上では著しく劣った。また 3 試験共に 5～100ppm は無添加の対照区より重くなる傾向が見られ、5 齢試験ではその範囲がやや高濃度の側に移行した。

繭層重は、1 および 3 齢試験では 200ppm 以上、5 齢試験では 400ppm 以上になると軽くなりはじめ、濃度が高くなると段階的に急激に悪くなった。濃度に対する感受性は繭重の 2 倍位高かった。

Zn の毒性は一般に Cd よりも慢性で、徴候が見えはじめから死ぬまでに、より長期間を要した。また Cd による慢性毒の場合は蚕のばらつきを大きな特徴としたが、Zn の場合は同一処理の蚕はほぼ揃って小さくなった（経過が遅れた）。また営繭後死んだ場合、Cd による時は体型が異状となることが多かったが、Zn の場合は全体の均整がとれたまま小さくなっていることが比較的多く、畸型的なものほとんどなかった。

考 察

この報告は、飼料中の Cd または Zn の濃度と養蚕業上重要な蚕の諸特性、すなわち経過速度および斉一性、病（中毒）蚕発生歩合、化蛹歩合、繭重、繭層重、繭層歩合等との関係を調べ、その一応の許容限界濃度を定めることを目的として行なった。それゆえ蚕体の生理または形態に何らかの変化を生じても上記諸特性にまで及ばない現象は対象としていないし、生命へ本質的に重要な変化ならば、前記諸特性へ必ず何らかの影響を及ぼすに違いないという前提に立って行なった。

したがってこの試験成立の基本条件は、人工飼料育（人工飼料でない限り、Cd 等の目的量を正しく含有させた飼料はできない）で養蚕業として耐えられる程度の飼育成績を得られるかという点にある。その観点より対照区となった無添加飼料での飼育結果

を検討すると、掃立～終熟までの日数は春蚕期の温度環境で 24～26 日、掃立蚕に対する化蛹歩合は 95% 以上、繭重は 1.6g 前後、繭層重は 340～350mg、繭層歩合は 21.0～21.5% で、これは供試品種本来の特性を十分発揮した値とはいえないが、養蚕業としては耐え得る成績であり、先に述べた基本条件を満足し得たものと判断した。

また、濃度の設定に関しては予備実験を繰返した結果定めた。この試験は慢性毒性試験の性格をもつが、実験の結果は先に示したように、濃度が小から大になるにつれ、無作用量、作用量、中毒量、致死量を得られたので、試験設計は適切であった。ただし Cd のほうが Zn よりも相対的にはやや高濃度を中心として試験がなされた。なお重金属給与量を蚕の体重当たりではなく、飼料乾物当りとしたのは、このほうが公害被害地の桑葉分析結果との対比に便利で、より応用性が高いためである。

実験の結果、Cd は 1 齢試験で 10ppm になると繭重、繭層重共に軽くなりはじめた。3 齢および 5 齢試験では境界線がやや不明確となってくるが、健康度（化蛹歩合）、繭重、繭層重のうち、いずれか一項目でも落ちる箇所が出る所で線を引くとやはり 10ppm となった。

Zn は 1 齢および 3 齢試験では 200ppm になると繭質、とくに繭層重が軽くなった。5 齢試験では 400ppm で同様の傾向が認められた。

同じような実験を繰返し行なった結果においても、ここに示した濃度、すなわち Cd で 10ppm、Zn で 200ppm 以下で、蚕に有意で悪影響を示した結果は 1 例も得られなかった。ただし有害最小濃度がこれより高い水準となることは Cd および Zn の両者に時々見られた。その理由についてはまだ解明されていないが、同じ飼料を用いてもそのような現象が見られたので、原因は主として蚕のサイドにあると思われた。

また群馬県安中市の東邦亜鉛製錬所周辺の桑葉を用いて繰返し行なった飼育試験とその桑葉の化学分析との対比においても、先に示した濃度以下で蚕に被害を与えるという結果は調べた限りでは得られていない。

これらの結果から、普通の養蚕用（交雑種）の蚕の飼料に含まれる一応の最大許容量を乾物当りでは障害発生の一段階下の濃度を取り、Cd は 5ppm、

Zn は 100ppm という濃度を提案する。一応のという条件を付したのは、この試験では両者とも単独添加の条件下でテストされたからである。しかし現実には公害問題等で検討する必要がある時は、毒性物質への曝露は単独よりも複合的に重なることが一般であり、それらの相乗効果を十分に検討せねばならないからである。その点については続報で報告する予定であり、物質によっては確かに相乗効果によって毒性を強める例も得ている。しかし現在までに検討した範囲内では、最大無作用量は Cd は 5 ppm, Zn は 100ppm という点には変わりなかったで、この濃度を最大許容量とした。

なお、Cd, Zn 両者共に微量な範囲内では蚕の飼育成績を僅かながら良くする傾向があった。この点については新村⁵⁾による、飼料乾物当り Zn として 0.002% 以上 0.4% 以下の飼料が良いとの特許申請がある。0.4% は 4000ppm であるから中毒死の量である。しかし Cd で 1~2 ppm, Zn で 5~100 ppm の範囲はその他の成分の組成をコントロールできる条件下では有効となる可能性はある。

桑葉中の Cd 含量は自然条件下では、一般には 0.1 ppm 以下、また Zn は 20~25ppm のことが多いが、群馬県安中市東邦亜鉛製錬所周辺の様な人為的汚染環境下では Cd は 10~20ppm, Zn は 2600ppm という値も、小林⁴⁾、群馬蚕試⁷⁾等によって報告されている。これらは複合的汚染を受けており、群馬蚕試の場合はそれらの桑葉による蚕の飼育と Cd および Zn の分析もされたが、現在まで得られた限りの結果では、先の許容量を変える必要は認められていない。

摘 要

人工飼料に Cd または Zn を添加した飼料で蚕を飼育して、それぞれの濃度別および発育段階別の毒性を調べた。

1. Cd の濃度が 1 齢試験（掃立~上蔭まで Cd 添加飼料を連続給与）では 50ppm 以上、3 齢（3 齢起蚕~上蔭まで連続給与）および 5 齢試験では 200ppm 以上になると化蛹する前にすべての蚕が中

毒死した。

2. Cd の濃度が 10ppm 以上になると 3 試験共に毒性の影響を受け、繭質が悪くなった。さらにその他の試験による結果ならびに工場による汚染桑での飼育結果と化学分析との対比から Cd の飼料中における最大許容量を 5 ppm（対乾物当り）とした。

3. Cd による慢性的障害を受けた場合の特徴の一つは経過のばらつきが極端になることである。

4. Cd の濃度が高くなるにつれ、繭層重の低下、繭重の低下、経過の遅れとばらつき、蚕の中毒死蚕の増加といった障害が順次蚕に見られた。

5. Zn は、1 齢および 3 齢試験では 200ppm, 5 齢試験では 400ppm から障害が現われ、先ず繭層重の低下にそれが認められた。また Cd の場合と同様な根拠に基づき許容限界量を 100ppm とした。

6. Zn による障害では、経過のばらつきはほとんどなく、同処理の蚕は揃って小さくなる（経過が遅れる）現象が認められた。

文 献

- 1) 群馬県 (1970): 昭和44年度・碓氷川流域環境汚染対策実施結果.
- 2) 浜野国勝・向山文雄 (1970): 日蚕雑, **39**, 371-376.
- 3) 長谷川金作 (1943): 日蚕雑, **14**, 24-32.
- 4) 小林 純 (1969): 科学, **39**, 369-375.
- 5) 新村正純 (1969): 特許公報・特許出願公告, 昭和44-28461.
- 6) 農林蚕試 (1969): 永年作物における微量金属元素の異常吸収に関する研究, 1-72.
- 7) 重松 孟・他3名 (1970): 日蚕関東講要 21回, 34.
- 8) 杉山 浩・他2名 (1970): 日蚕関東講要 21回, 34.
- 9) 高岸秀次郎・他2名 (1970): 日蚕関東講要 21回, 23.
- 10) 吉武成美 (1954): 日蚕雑, **23**, 349-355.

Summary**Effects of heavy metals on the mulberry plant and silkworm****(I) Effects of cadmium and zinc on silkworm larvae, *Bombyx mori*. L.**

By

Takekatsu MIYOSHI, Fukuju MIYAZAWA, Osamu SHIMIZU

From the viewpoint of environmental pollution, it was reported that cadmium and zinc, which are familiar as the industrial byproducts, had toxic effects on silkworm larvae. But no report was published for safety level of concentration of these metals in diets. In this paper, cadmium sulfate and zinc sulfate salts in graded concentration were fed to silkworm larvae using an artificial diet. Tests were done at three periods, namely the first test was from hatching to pupation, the second was from the beginning of the 3rd instar to pupation and the third was in the last instar (5th instar) period.

The results obtained are as follows:

1) When the concentration of Cd (as Cd element of CdSO_4) in diet was over than 50ppm (per dry diet) in the 1st instar test, 200ppm in the 3rd and the 5th instar test respectively, all insect were dead before pupation.

2) When the concentration of Cd was over than 10ppm in every three test the cocoon quality was suffered detrimentally, namely the cocoon layer became lighter than control. So we conclude that the safety level of Cd concentration in diet is 5 ppm per dry diet.

3) When the concentration of Zn (as Zn element of ZnSO_4) in diet was over than 200ppm in the 1st and the 3rd instar test respectively and over than 400ppm in the last instar test, the cocoon layer become lighter.

So we conclude that safety level of Zn concentration in diet is 100ppm.

(*Gunma-ken Sericultural Experimental Station, Maebashi-shi, Gunma-ken*)