

モンシロチョウの成長に影響を及ぼす環境要因

久留戸涼子, 高田勇太朗, 明石真弥

Environmental factors affecting the growth of white butterfly

Ryoko KURUTO, Yutaro TAKADA, Maya AKASHI

2015年11月20日受理

抄 録

モンシロチョウの成長過程には、様々な環境要因が影響を及ぼすことが考えられる。本研究では、まず、幼虫の成長に及ぼす温度と湿度の関係について調べた。その結果、幼虫の飼育に最も適していた条件は、室温（20～25℃）で高湿度（80～100%）であった。また、最も適していない条件は、高温（28～30℃）で高湿度であった。また、蛹の色に影響を及ぼす環境要因として、背景色と温度について検討した。蛹の色は、低温では褐色系、高温では緑色系となる傾向が確認され、蛹の色は背景色だけではなく、温度の影響を受けることがわかった。幼虫の食草の選択では、幼虫はキャベツ液を吹きかけたアブラナ科以外の植物にも引き寄せられたが、食草として食べたり、そこにずっと留まっていたりすることはなかった。これらの結果から、モンシロチョウの成長は、温度や湿度などの環境要因に影響され、飼育の際には留意しなければならないことがわかった。

キーワード：White butterfly, Temperature, Humidity, Background color, Pupal coloration

1. 研究の背景

小学校理科では、第3学年で「昆虫の成長と体のつくり」を学習し、教科書ではモンシロチョウ *Pieris rapae crucivora* が教材として取り上げられている(1)。常葉大学教育学部では、小学校教諭免許取得の必修科目として理科1Aが開講され、生物分野では、モンシロチョウの飼育・観察を課題として出している。しかし、学生の中には、幼虫の時期に死んでしまった、蛹のまま羽化しなかったなど、飼育についてうまくいかないといった声も多く聞かれる。基本的な世話がきちんとできていないという場合も多いが、温度や湿度など様々な環境要因が飼育に不適切だったために起きている可能性もある。学生は、通常自宅で飼育しており、気温や湿度などをあまり注意していないところもある。小学校の教育実習で、実習生である学生がモンシロチョウの飼育

を、担当する場合もあり、きちんとモンシロチョウを飼育することが求められている。また、餌が足りているにも関わらず、死亡してしまう幼虫が多数見られたり、蛹の色が緑一色だけではなかったりすることもある。

そこで、本研究では温度や湿度、環境色などの環境要因を変えてモンシロチョウを飼育し、環境要因がモンシロチョウの成長にどのような影響を及ぼすのか調べることにした。

2. 研究の目的

モンシロチョウのライフサイクルには、外気の温度や湿度、環境色の変化などの環境要因が影響を与えることが知られている。湿度が高かったり、高温の季節や幼虫数が多すぎたりすると病気になりやすいと報告されている(2)。そこで、どのような環境条件が幼虫の飼育に最も適しているのかを確認するため、温度を低温・室温・高温、湿度を高湿度・通常の室内湿度に設定し、1容器あたりの匹数も変えて幼虫を育てる実験を行った。

また、モンシロチョウの飼育をしている上で、蛹の色がキャベツの上では緑色になったり、紙の上では褐色になったりすることがあった。蛹になる場所の背景色によって、蛹の体表色の色彩が変化するとされている(3, 4)。また、蛹の色は背景色だけでなく、温度や日照時間にも影響されているとあり(2)、これらの条件を変えることで、蛹の色にどのような変化が見られるのか調べてみることにした。

また、チョウが幼虫時代に食べる植物を食草と言い、モンシロチョウではアブラナ科を中心に、一部フウチョウソウ科やノウゼンハレン科の植物が報告されている(5, 6)。モンシロチョウおよびオオモンシロチョウの幼虫が食草を選択するメカニズムについては、アブラナ科の植物に含まれるカラシ油配糖体であるシニグリンおよびシナルビンが摂食刺激物質として摂食を促すことが知られている(2)。これらは、植物にとっては、防御機構の代謝産物として作り出したもので、一般の昆虫に対しては毒性を持つ。しかし、モンシロチョウはこれにうまく適応する能力を獲得した(7)。実際に、モンシロチョウはどのように食草を選んでいるのか、シニグリンに反応し食草を選択しているのか、実験することにした。

3. 方法

3-1. 幼虫の飼育

孵化直後の幼虫を一ヵ所に集め、2齢幼虫になってから、1容器あたりの幼虫数を5、15、30匹に設定した。飼育ケースには、直径23cm、高さ12cmの丸水槽を用いた。また、食草は、キャベツ又はブロッコリーとした。

温度は、低温(13～16℃)、室温(20～25℃)、高温(28～30℃)の3通り、湿度は、高湿度(80～100%)と通常の室内の湿度(50～60%、以下低湿度と表す)の2通りに分け、6通りの実験条件で行った(表1)。高湿度の場合は、飼育ケースの中に水を張った容器を入れ、ケースには2～3回/日で霧吹きをし、湿度を高く維持した。①～⑥の各条件で、蛹になるまでの日数、幼虫の蛹化率、幼虫・蛹の死亡

率を算出した。


表1 温度と湿度の実験条件

実験	温度	湿度
①	室温 (20 ~ 25℃)	低湿度 (50 ~ 60%)
②		高湿度 (80 ~ 100%)
③	低温 (13 ~ 16℃)	低湿度 (50 ~ 60%)
④		高湿度 (80 ~ 100%)
⑤	高温 (28 ~ 30℃)	低湿度 (50 ~ 60%)
⑥		高湿度 (80 ~ 100%)

3-2. 蛹の色の判定

孵化直後の幼虫を使用し、温度は低温、室温、高温に分け、照明時間は10 h. で飼育した。蛹になる直前（さまよい行動をしはじめた段階）に、背景色として赤、黄、青、緑の4種のセロファン（薦田工業株）を予め貼った各容器に、幼虫を入れ替え、それぞれの蛹の色がどのようになるのか観察した。蛹の色の判定方法は様々あるが、今回は蛹の地色を主にして5段階にわけて判定した（表2）(2)。

表2 蛹の色の判定

緑色	灰緑色	中間色	灰褐色	褐色
				

3-3. 幼虫の食草の選択

直径29 cm、高さ15 cmの丸水槽の底に、以下の植物を放射状に配置し、中央に2～3齢幼虫を5匹、4～5齢幼虫を5匹放し、蓋をした。1時間後にどの植物にどのくらいの幼虫がいるのか調べた。室温約25℃で実施した。

実験①：食草であるアブラナ科植物（キャベツ、ブロッコリー、ハボタン）と、食草でない植物（キク科：レタス、アカザ科：ホウレンソウ）

実験②：食草であるアブラナ科植物（キャベツ、ブロッコリー、ハボタン）と、キャベツをすりつぶした液（以下キャベツ液と記す）を吹きかけた食草でない植物（キク科：レタス、アカザ科：ホウレンソウ）

4. 結果と考察

4-1. 幼虫の成長に及ぼす温度および湿度の影響

実験①～⑥について、蛹になるまでの日数、幼虫の蛹化率、幼虫・蛹の死亡率を表3に示した。①の条件については2回行ったが、他の条件については1回しか行うことができなかった。また、⑤の1容器あたりの匹数が30匹の場合は、匹数不足で、行うことができなかった。各項目について温度別にグラフ化し、温度、湿度、密度についてどのような条件が幼虫の飼育に最も適しているのかを考察した。

蛹になるまでの日数は、室温での場合、個体密度によらず、低湿度の方が13～14日と高湿度の17～19日より若干短かった(図1A)。低温での場合は、室温に比べて日数がかかったが、5匹では低湿度、15、30匹では高湿度の方が短かった(図1B)。高温では、室温に比べて日数が短くなったが、低湿度の方が若干短かった(図1C)。蛹になるまでの日数は、高温(10～15日)、室温(14日～20日)、低温(30日～45日)の順に短いことがわかった。このことから、蛹になるまでの日数、すなわち幼虫の成長率は温度による影響を大きく受けており、温度が高ければ、より速く成長すると考えられた。モンシロチョウにおいては、10℃から35℃までは、温度の上昇とともに成長率が増加し、35℃を超えると急速に低下するという報告もあった(8)。

幼虫の蛹化率は、室温と低温では、高湿度の方が高かった(図2A, B)。高温では、低湿度の方が、蛹化率が高かった(図2C)。また、高湿度の30匹では、急激に蛹化率が下がった。これは、室温と低温では湿度がある程度高い方が、食草であるキャベツの鮮度が保たれたからではないかと考えられ、高温では、高湿度かつ高密度(1容器あたりの匹数が多い)により、病死の発生率が上がり、死亡率が上がったのではないかと考えられた。全体では、蛹化率は、室温で高湿度の条件において、高いことがわかった(図2)。これは、室温(約22℃)は自然界で幼虫が成長するのに適している温度に一番近いいため、蛹化率が一番高くなったのではないかと考えられた。

幼虫の死亡率は、蛹化しなかった幼虫と捉えることもできる。そのため、幼虫の蛹化率と同じようなことが考えられた。室温と低温では、高湿度の方が幼虫の死亡率が低かった(図3A, B)。室温、低温では高湿度であることにより、餌であるキャベツの鮮度が保たれたため、幼虫の死亡率が低湿度よりも低くなったのではないかと考えられた。高温では低湿度の方が幼虫の死亡率が低かった(図3C)。また、高湿度の30匹では急激に幼虫の死亡率が上がった。全体では、幼虫の死亡率は室温、低温、高温の順に低いことがわかった(図3)。これは、幼虫の蛹化率と同様、室温(約22℃)が自然界で幼虫が成長するのに最適な温度に一番近いいため、幼虫の死亡率が一番低くなったのではないかと考えられた。

蛹の死亡率は、高温や低温に比べると、室温が最も低い結果になった(図4)。高温の30匹の実験では、生き残った一匹の幼虫は羽化したため、蛹の死亡率は0%という結果になった。

幼虫は、その死亡率が低い室温で育てることで、より健康に育ち、蛹化した後も羽

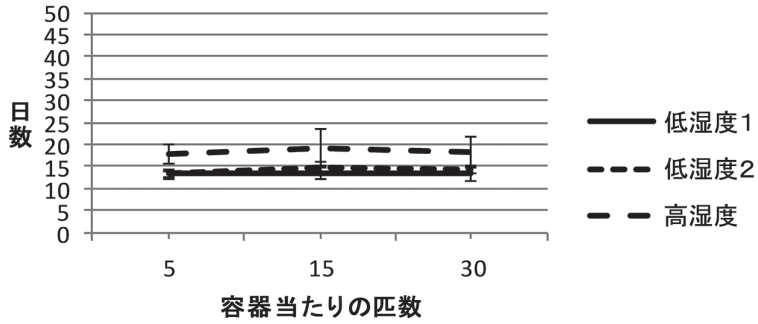
化不全などを起こさずに、無事羽化することができるのではないかと考えられた。今回の実験から、幼虫の飼育に最も適している条件は、実験②の室温（20～25℃）かつ高湿度（80～100%）であることが考えられた。また、最も適していない条件は、実験⑥の高温（28～30℃）かつ高湿度であることが考えられた。

表3 幼虫の成長に及ぼす温度および湿度の影響

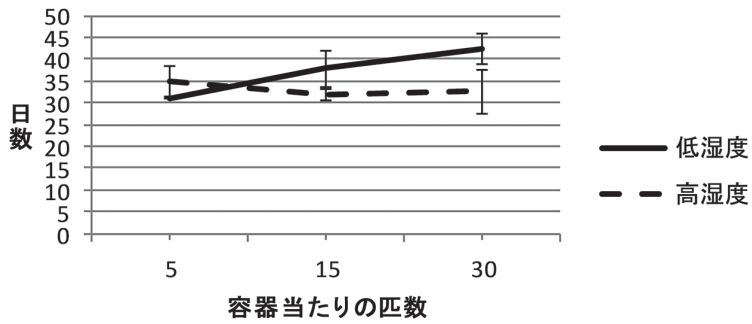
実験	容器当たりの匹数	温度（℃） （平均）	湿度（%） （平均）	蛹になるまでの 日数	幼虫の 蛹化率 （%）	幼虫の 死亡率 （%）	蛹の 死亡率 （%）
① 一回目	5	23.44	54.55	13.25	100.00	0.00	0.00
	15	23.38	54.67	13.50	61.54	38.48	0.00
	30	23.34	59.83	13.31	54.17	41.67	7.69
① 二回目	5	23.37	53.07	13.33	60.00	40.00	0.00
	15	22.65	53.31	14.75	38.46	53.85	20.00
	30	22.58	57.15	14.26	73.33	33.33	36.36
②	5	21.67	95.53	17.80	100.00	0.00	0.00
	15	21.91	95.45	19.23	86.67	13.33	0.00
	30	22.06	95.75	18.42	80.00	16.67	4.17
③	5	14.78	42.25	31.00	40.00	60.00	0.00
	15	14.99	38.46	37.80	40.00	60.00	33.33
	30	15.02	38.32	42.35	56.67	43.33	17.39
④	5	16.22	74.21	34.75	80.00	20.00	0.00
	15	15.97	77.31	31.67	80.00	20.00	23.07
	30	16.19	75.41	32.61	76.67	23.33	17.39
⑤	5	28.42	49.17	9.80	100.00	0.00	40.00
	15	28.42	49.17	10.08	80.00	20.00	66.67
	30	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
⑥	5	29.95	89.10	11.00	80.00	20.00	0.00
	15	30.14	89.18	11.33	80.00	20.00	25.00
	30	29.59	99.17	15.00	3.33	96.67	0.00

N.D. : not determined

A 室温



B 低温



C 高温

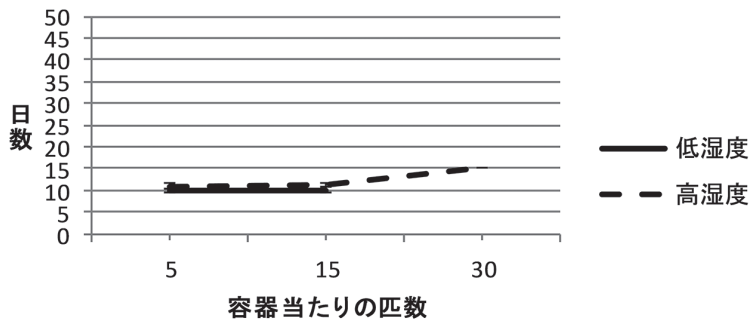


図1 温度別による蛹になるまでの日数

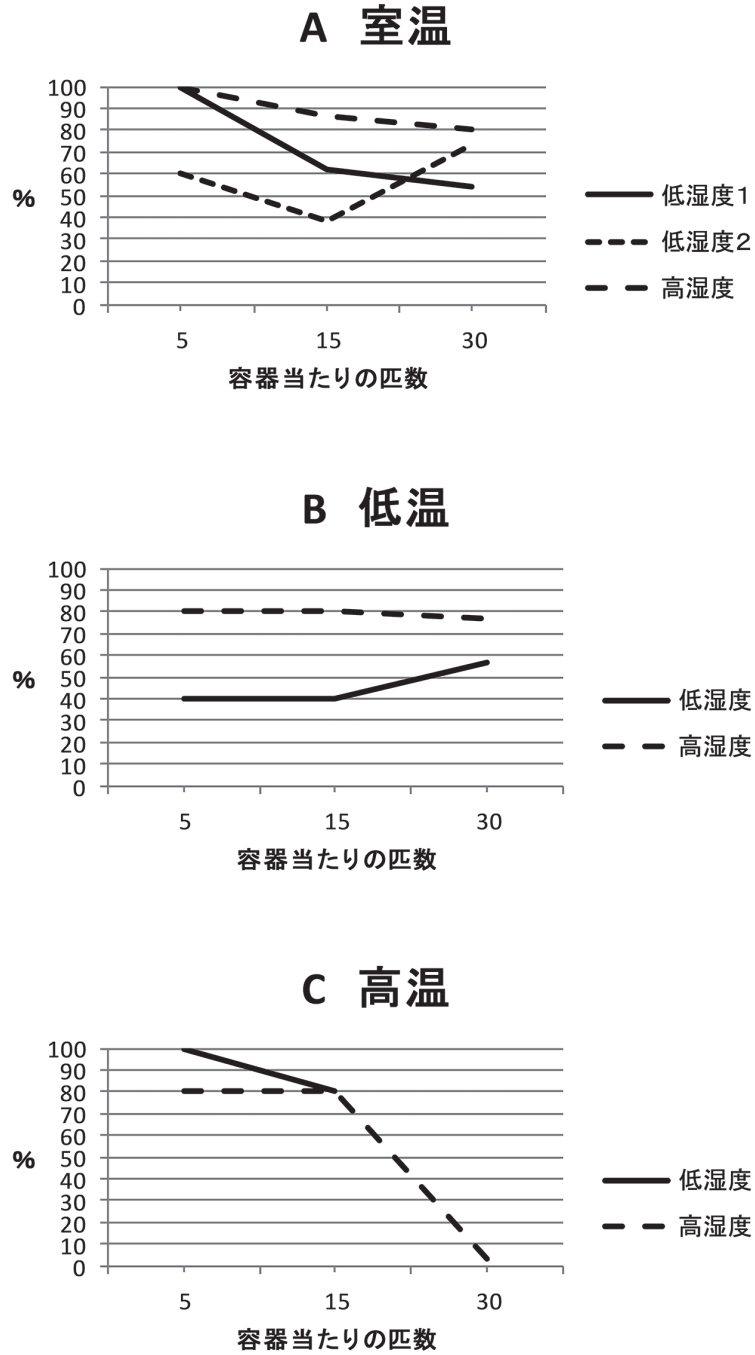
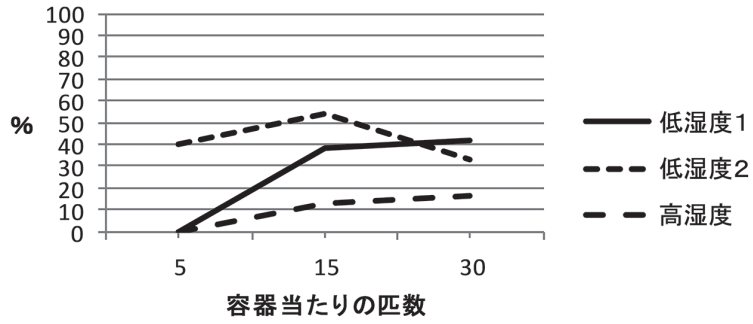
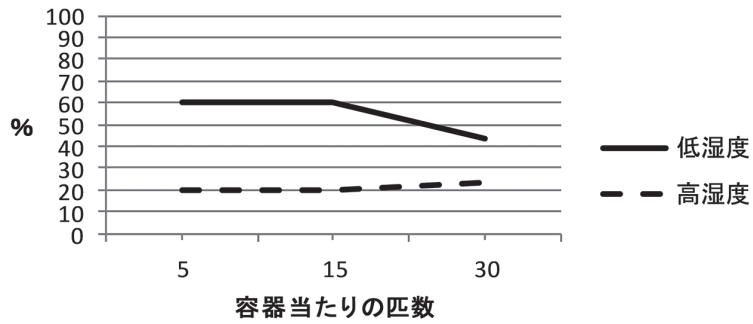


図2 温度別による幼虫の蛹化率

A 室温



B 低温



C 高温

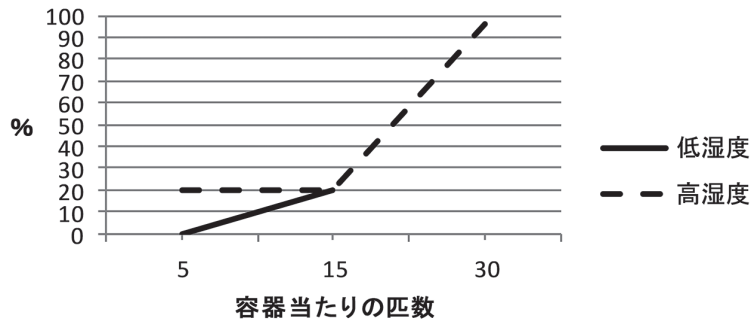
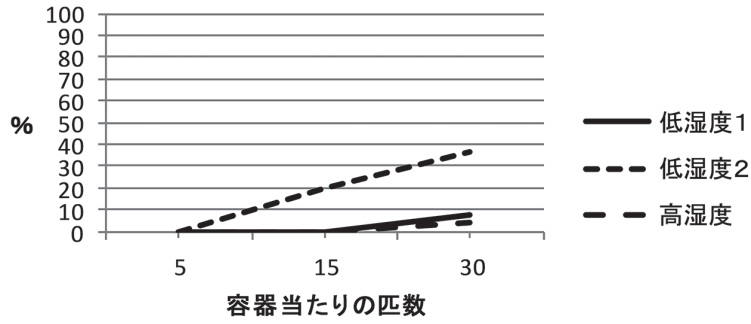
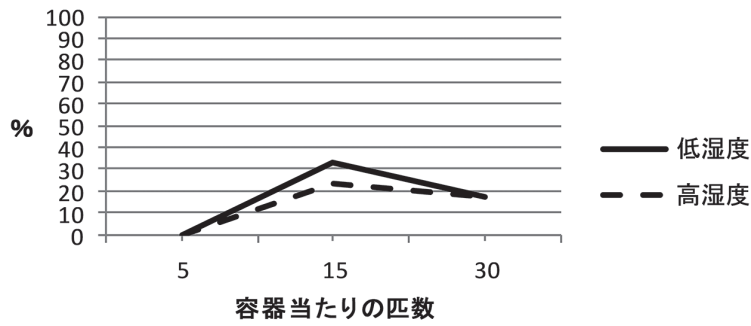


図3 温度別による幼虫の死亡率

A 室温



B 低温



C 高温

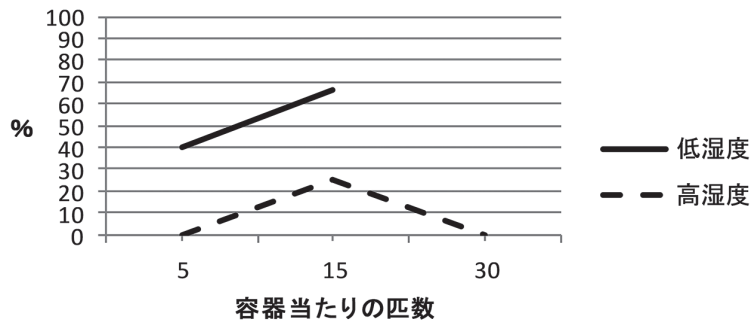


図4 温度別による蛹の死亡率

4-2. 蛹の色の決定に及ぼす環境色および温度の影響

本実験では、温度を室温、低温、高温の3段階に分け、背景色を4種に設定した。蛹の体表色の判定結果について、表4にその内訳と、図5に表4をグラフ化したもの、表5～7に実際の蛹の画像を示した。

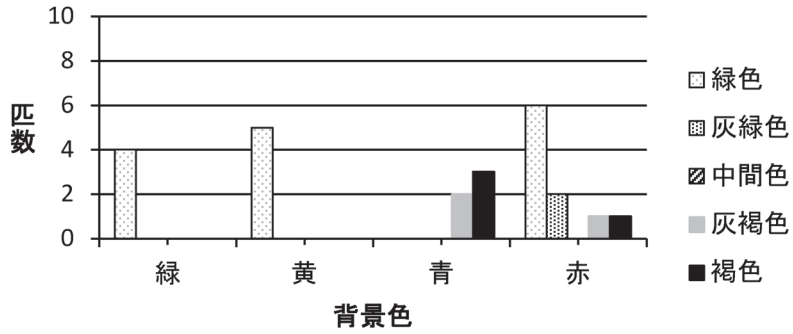
室温では、背景色が緑や黄の場合、蛹の色は緑色になったが、背景色が赤の場合も蛹の色は緑色よりの結果になった(図5A, 表5)。これは背景色よりも温度による影響をより大きく受けたからではないかと考えられた。一方、背景色が青の場合は、褐色系だった。高温では、さらに緑色寄りの傾向が見られ、背景色が青の場合も、緑色系の割合が高くなった(図5C, 表7)。逆に、低温では背景色が緑の場合でも、蛹の色は褐色よりになり、背景色が赤の場合も、さらに褐色よりになることがわかった(図5B, 表6)。緑の背景色では、低温の場合、背景色より温度の影響をより受けるのではないかと考えられた。低温、室温、高温での結果を見ると、低温では褐色系、高温では緑色系となる傾向があることがわかり、蛹の体表色は背景色だけではなく、温度の影響を強く受けることがわかった。

一般に、蛹の体色は他からの攻撃を避けるため、周りの環境色と同じような色になることが知られている(3, 4)。Poulton (1892)、Dürken (1916)、Brecher (1917)らが行った実験によると、背景色が黄とかオレンジの場合には蛹の色が緑色系になり、黒とか赤の場合には褐色系になると報告されている(2, 9)。また、低温では蛹の色は褐色系に、高温では緑色系になりやすいと言われており、今回の実験結果と一致した(2)。温度については、その制御を受けて、蛹の色の決定に関与する因子が、頭部から分泌されるという報告もある(10)。山中らは、アゲハチョウにおいて、温度と湿度が蛹の色に影響を与え、黄系蛹は、より高い温度および湿度条件によって誘導されるのに対し、茶系蛹は、より低い温度および湿度条件によって誘導されることを報告した(11)。また、照度や照明時間も蛹の体表色の決定に大きく関わっていると報告されている(12, 13)。今回の実験では、背景色と温度について条件検討したが、蛹の色の決定には、照度や照明時間など様々な環境要因が影響することが考えられた。一般的な緑色という蛹のイメージも、こうした様々な環境要因により巧妙に決定されたものであることがわかった。これらのメカニズムについてのさらなる研究が進んでいる。

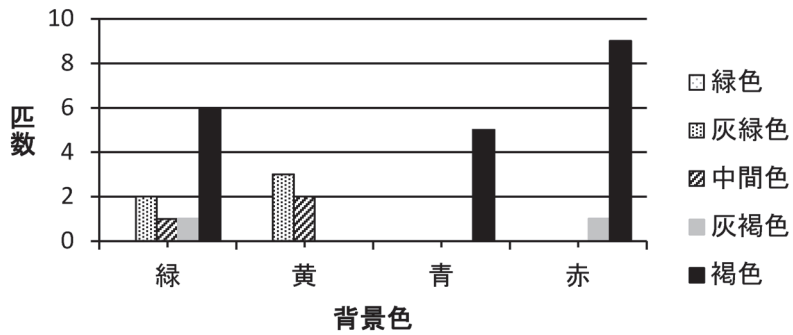
表 4 蛹の色の決定に及ぼす環境色および温度の影響（匹数）

温度	背景色	緑色	灰緑色	中間色	灰褐色	褐色	合計
室温	緑	4	0	0	0	0	4
	黄	5	0	0	0	0	5
	青	0	0	0	2	3	5
	赤	6	2	0	1	1	10
低温	緑	0	2	1	1	6	10
	黄	0	3	2	0	0	5
	青	0	0	0	0	5	5
	赤	0	0	0	1	9	10
高温	緑	8	2	0	0	0	10
	黄	5	0	0	0	0	5
	青	3	0	0	1	0	4
	赤	3	0	0	1	1	5

A 室温



B 低温



C 高温

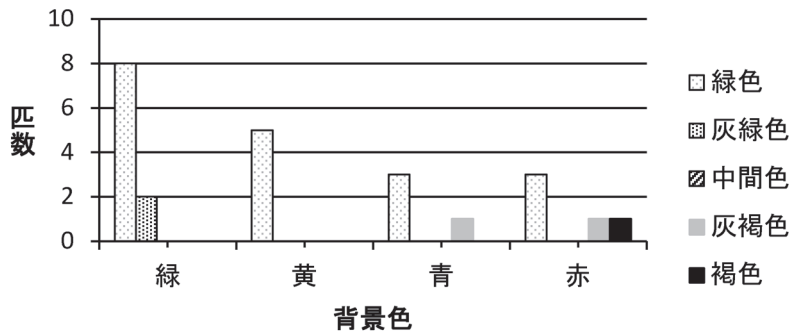


図5 温度別による背景色と蛹の色の関係

表5 室温条件での蛹の色

























背景色： 緑	緑色				
					
黄	緑色				
					
青	灰褐色		褐色		
					
赤	緑色				
					
	緑色	灰緑色		灰褐色	褐色
					

表 6 低温条件での蛹の色














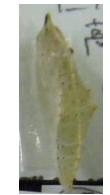
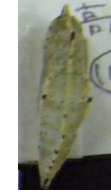


































背景色： 緑	灰緑色		中間色	灰褐色	褐色
					
	褐色				
					
黄	灰緑色			中間色	
					
青	褐色				
					
赤	灰褐色	褐色			
					
	褐色				
					

表7 高温条件下での蛹の色

背景色： 緑	緑色				
					
	緑色			灰緑色	
黄					
	緑色				
青	緑色	緑色 (キャベツ上)	灰褐色		
					
赤	緑色			灰褐色	褐色
					

4-3. 幼虫の食草の選択

実験①では、アブラナ科の植物に幼虫が集まり、アブラナ科以外の植物には全く集まらなかった。アブラナ科の植物の中でも特にキャベツとブロッコリーに多く集まり、ハボタンにはあまり集まらなかった（表8 実験①）。しかし、初めからアブラナ科の植物に向かって行くのではなく、初めは適当な方向に向かって進むのだが、アブラナ科以外の植物の前にくるとすぐに方向を変え、全く留まる様子が見られなかった。このことから、モンシロチョウの幼虫は植物に接近してから食草と判断していることがわかった。今回、食草としては、基本食草（種が世代を交代させるために不可欠な植物）のアブラナ科アブラナ属キャベツ種である、キャベツ、ブロッコリー、ハボタンを用いたが（表9）、その中でも差があり、ハボタンは食草としてあまり好まれていないと考えられた。この原因は、食草に含まれるシニグリンなどの摂食刺激物質の量にあるかもしれない。また、ノウゼンハレン科のキンレンカは、許容される食草であるが、キャベツで飼育していたモンシロチョウの幼虫を、5 齢幼虫でキンレンカに移すと餌を拒否し餓死したが、もともとキンレンカで飼育した幼虫ではその後キャベツに移してもキャベツを容易に受け入れたと報告されている (6)。これは、餌として取り入れた経験が摂食に対する応答性に影響を与えたものと考えられた。今回、孵化直後は、ハボタンを与えていなかったため、その経験からハボタンよりもキャベツやブロッコリーを好んだ可能性もあった。

実験②でも、最終的な結果としてはアブラナ科の植物に幼虫が集まり、アブラナ科以外の植物には集まらなかった（表8 実験②）。実験①と同様、アブラナ科の植物の中でも特にキャベツとブロッコリーに多く集まり、ハボタンには集まらなかった。実験②では、アブラナ科以外の植物の前にもすぐに方向を変えず、しばらく留まる様子が見られた。これは、シニグリンなどを含むと考えられるキャベツ液を吹きかけたために、幼虫が引き寄せられたと考えられた。二回目の実験開始 10 分後にはハウレンソウに 6 匹留まっている様子も観察された。しかし、食草として食べたり、そこにずっと留まっていたりすることはなかった。

食草の選択は、モンシロチョウの命や種の保存にかかわる重要な事柄なので、厳密に行われていると考えられた。

表 8 幼虫の食草の選択（匹数）

実験	キャベツ	ブロッコリー	ハボタン	レタス	ハウレンソウ	その他	
①	一回目	1	7	1	0	0	1
	二回目	7	2	1	0	0	0
②	一回目	4	4	0	0	0	2
	二回目	7	3	0	0	0	0

表9 モンシロチョウの食草一覧(5)

区分	分類		種名
基本食草 ^{a)}		アブラナ属	キャベツ (ハボタン、ブロッコリー、カリフラワー、メキャベツ)
代償食品 ^{b)}	ア ブ ラ ナ 科		アブラナ (コマツナ、タイサイ)、カブ (センズジミナズナ、ハクサイ)、カラシナ (タカナ、カツオナ)
		ダイコン属	ダイコン (ハツカダイコン、ハマダイコン)、セイヨウダイコン
		セイヨウワサビ属	セイヨウワサビ
		イヌガラシ属	イヌガラシ、ミミイヌガラシ、スカシタゴボウ、キレハイヌガラシ、ミチバタガラシ
		タネツケバナ属	タネツケバナ、オオバタネツケバナ、コンロンソウ
		オオアラセイトウ属	オオアラセイトウ
		オランダガラシ属	オランダガラシ
		マメゲンバイナズナ属	マメゲンバイナズナ
		ワサビ属	ワサビ
		ハタザオ属	ヤマハタザオ、ハタザオ
		ナズナ属	ナズナ
		ヤマガラシ属	ヤマガラシ、フユガラシ
		カラクサガラシ属	カラクサガラシ
		キバナハタザオ属	カキネガラシ
			フウチョウソウ科
	ノウゼンハレン科	ノウゼンハレン	
代用食草 ^{c)}	ア ブ 科	ハナナズナ属	ハナナズナ
異常食草 ^{d)}	ラ	キバナハタザオ属	キバナハタザオ

※ () 内は、それぞれの変種、品種を示す。

a) 基本食草：種が世代を交代させるために不可欠な植物

b) 代償食草：基本食草から食性を転換させた植物。

c) 代用食草：飼育時に与えると全幼虫期もしくは一時期を成長させることができるが、野外では産卵に利用されることはない植物。

d) 異常食草：野外で産卵に利用されることはあっても、その植物では世代を交代させていないか、交代させることができないもの。

今回の実験では、幼虫の飼育に最も適している環境条件が、室温 (20 ~ 25℃) かつ高湿度 (80 ~ 100%) という結果が得られ、幼虫の成長には温度および湿度が影響

することがわかった。従って、モンシロチョウの飼育の際には、飼育環境に留意をする必要がある。また、蛹の体表色の決定には、背景色だけではなく、温度の影響を強く受けることが考えられた。幼虫の食草については、厳密に制御されていることがわかった。

謝辞

本研究に当たり、山口大学理学部山中明先生には、様々なご助言をいただきました。この場を借りて厚く御礼申し上げます。

参考文献

1. 文部科学省, 小学校学習指導要領解説 理科編, 大日本図書株式会社, 2008.
2. 矢野幸夫: チョウの実験と観察—モンシロチョウ・アゲハチョウ—. 東洋館出版社, 1977.
3. 日高敏隆: モンシロチョウの蛹色決定要因の研究史. 実験形態学誌, 13, 1-12, 1956.
4. 山中明: チョウの環境適応に対する蛹の色の多形現象. 山口生物, 25, 3-10, 1998
5. 江島正郎: 日本の昆虫⑥モンシロチョウ. 文一総合出版, 1987.
6. Renwick, J.A., Huang, X.P. : Rejection of host plant by larvae of cabbage butterfly: Diet-dependent sensitivity to an antifeedant. *J. Chem. Ecol.*, 21, 465-75, 1995.
7. Wittstock, U., Agerbirk, N., Stauber, E.J., Olsen, C.E., Hippler, M., Mitchell-Olds, T., Gershenzon, J., Vogel, H. : Successful herbivore attack due to metabolic diversion of a plant chemical defense. *Proc. Natl. Acad. Sci. U S A.*, 101, 4859-64, 2004.
8. Kingsolver, J.G. : Feeding, growth, and the thermal environment of cabbage white caterpillars, *Pieris rapae* L. *Physiol. Biochem. Zool.*, 73, 621-8, 2000.
9. Brecher, L. : Die Puppenfärbung des Kohlweisslings, *Pieris brassicae* L. *Archiv. für Entwicklungsmechanik*, 43, 88-221, 1917.
10. Yamanaka, A., Kometani, M., Yamamoto, K., Tsujimura, Y., Motomura, M., Kitazawa, C., Endo, K. : Hormonal control of pupal coloration in the painted lady butterfly, *Vanessa cardui*. *J. Insect Physiol.*, 55, 512-7, 2009.
11. Yamamoto, K., Tsujimura, Y., Kometani, M., Kitazawa, C., Islam, A.T., Yamanaka, A. : Diapause pupal color diphenism induced by temperature and humidity conditions in *Byasa alcinous* (Lepidoptera: Papilionidae). *J. Insect Physiol.*, 57, 930-4 2011.
12. Hiraga, S. : Two different sensory mechanisms for the control of pupal

- protective coloration in butterflies. *J Insect Physiol.*, 51, 1033-40, 2005.
13. Yamanaka, A., Nomura, Y., Fujita, T., Hayase, T., Fujishima, T., Yamashita, K., Kodama, I., Genda, T., Kitazawa, C., Endo, K. : Environmental and cerebral factors affecting diapause pupal coloration in the cabbage white butterfly *Pieris rapae crucivora*. *Information*, 13, 1091-8, 2010.

