

日射量の多少が餌としての稲を通してニカメイガ の生存および発育におよぼす影響

菅野 紘 男

Hiroo KANNO: Larval survival and growth of the rice stem borer, *Chilo suppressalis* WALKER (Lepidoptera: Pyralidae), on shaded rice.

Summary

Larval survival and growth of the rice stem borer, *Chilo suppressalis* WALKER, on shaded rice (shading rate: 60%) were investigated. Survival rate of newly hatched larvae on shaded rice was apparently higher than that on normal rice. The larval growth, however, was significantly suppressed when fed on shaded rice. The haemolymph protein of larvae reared on shaded rice was clearly less detected than that of normal ones by polyacrylamide-gel electrophoresis. These results suggest that the shaded rice is inferior to the normal one as larval food. No significant relationship between larval growth and rice components, sugars, crude protein and amino acids, was obtained.

緒 言

日射量は稲の光合成能力を規定する最も重要な要因であり、稲体内のさまざまな生理的現象に大きな影響をおよぼしている。このような稲をニカメイガの食餌として考えた場合、日射量の多少が餌としての稲をとおして、本虫の生理や生態にいかなる影響をおよぼしているのか非常に興味深い問題である。ここではそのような観点より、日射量の異なる条件下で栽培された稲でのニカメイガの生存および発育との関係について調査した結果を報告する。

材料および方法

1 供試稲の栽培法

供試品種はヤマホウソウを用い、栽培は窒素の施用量を正確に規定するため水耕栽培によった。水耕液の組成は Table 1 に示すとおりである。日射条件は遮光処理をしない多照区と通風を妨げないように地上 170cm の高さに黒いクレモナ寒冷紗を張った少照区(遮光率、約60%)とを設けた。供試稲は別途、稚苗田植機用育苗箱で3~4葉期まで育苗したものを下部側面に4か所の穴をもつ直径8cm、高さ9cmのプラスチック製小型ポットに移植し、水耕液の入った碟耕用ベット(クボタ、葉葉用)に設置した。水耕液の交換は1週間間隔で行ない、強雨のあった後には適宜入れ替えた。また水耕液はpHがおよそ5~6になるように調節した。

Table 1. Composition of the nutrient solution

Elements	Fertilizer	Concentration (ppm)
N	(NH ₄) ₂ SO ₄	40
P	Na ₂ HPO ₄	20
K	KCl	30
Ca	CaCl ₂	4
Mg	MgCl ₂	6
Fe	Fe-Citrate	4

2 食入初期における幼虫の生存と発育

供試卵塊は近郊の安塚町にて夜間捕蛾を行なって得た成虫にパラフィン紙上に産卵させたものを用い、およそ100卵粒からなるふ化直前の卵塊を、水耕栽培開始後、約1か月を経過した稲の主稈葉上にクリップで添付した。接種した卵塊は翌日回収して20%苛性カリ溶液におよそ30分間浸漬した後、解剖顕微鏡下で分解しふ化数を調べた。幼虫の調査は食入10日後に行ない、稲茎を裂いて幼虫を取り出し、生存率を求めるとともに生体重を測定した。

3 幼虫の経時的発育調査

卵塊を前記と同様の方法で稲に接種し、ふ化幼虫の食入後10日、15日、25日、35日に幼虫の生体重を測定した。

4 無菌飼育による幼虫発育調査

遮光処理を行なうことによって生じる気温、湿度の変化など、日射量以外の要因の影響を排除するため、多照区、少照区の稲茎を用いて幼虫の無菌飼育を行なった。

水耕開始後、約1か月を経過した稲を刈り取り、茎の部分をおよそ3cmの長さに切った後、200mlの三角フラスコ中に50gずつ詰め、さらに水5mlを添加した。こ

のフラスコを圧力11ポンド/cm²のオートクレーブにて30分間殺菌した後、70%アルコールと0.1%昇汞水を用いて滅菌した卵塊を無菌室内で接種した。飼育の条件は25°C、16時間照明とし、接種45日後に幼虫の生存数と生体重とを調査した。

5 幼虫の体液蛋白質の分離

日射量を変えて栽培した稲を摂食した幼虫の体液蛋白質組成を萩田(1965)によるポリアクリルアミドゲル水平電気泳動法により検討した。緩衝液はリン酸緩衝液を用い、ゲル板作製のためのガラス板は16.5×12cmの大きさのものを、またプラスチック框は厚さ0.9mm、巾5mmのものを使用し、さらにガラス板と同大の塩化ビニール板に1.5×1.0×1.2mmの爪をつけたものを用いた。単体・触媒溶液はTable 2に示した試薬溶液をA:B:C=2:1:1に混合して調製した。薄層はガラス板、框、爪つき板を重ね、これを少しずらして混合試薬を流し込む方法で作製した。こうして得たゲル板の爪みぞに供試虫の体液を5μlずつマイクロピペットを用いて添付した。体液は、稲へ食入した後、30日を経過した幼虫の腹脚部に針を刺し、滲出させたものを用いた。泳動は5°Cのストッカー内で行ない、電流の強さはゲルの巾1cmあたり1mAになるように調節し、泳動時間は2時間とした。泳動を完了したゲルはアミドブラック10Bで染色し、10%酢酸溶液にて脱色した後、デンストメーター(ATAGO, OZUMOR-6)を用いて分画濃度を測定した。

6 供試稲の成分分析

Table 2. Composition of the basic solutions for preparation of the polyacrylamide-gel

A solution	HCl (1 normal)	30ml
	Tris	22.8g
	Acrylamide	47.5g
	N, N'-Methylenebisacrylamide	2.5g
B solution	Demineralized water	500ml
	3-Dimethylaminopropionitrile	0.5ml
C solution	Demineralized water	50ml
	Ammonium persulfate	0.25g
	Demineralized water	50ml

1) 炭水化物

分析に供した稲は水耕栽培を開始してから約1か月を経過したものを用いた。採集した稲は速かに100°Cの乾燥器中に入れ、30分間加熱して酵素作用を止め、さらに約70°Cで一昼夜乾燥させた後、茎部を粉碎して分析に供した。分析の手順はFig. 1に示すとおりであり、Somogyi法を用いてグルコースとして定量した。

2) 全窒素ならびに粗蛋白

全窒素は定法(micro-Kjeldahl法)によって分析し、粗蛋白は全窒素量に6.25を乗じて求めた(蛋白質中の窒素含量を16%と考える)。

3) 遊離アミノ酸

採集してきた稲の葉鞘部分5gをただちに約80°Cに熱した80%メタノール溶液に入れ、10分間抽出し、さらに石油エーテルでクロロフィルを分離した後、アミノ酸自動分析器(液体クロマトグラフ)によって分析した。

7 幼虫発育に対するアスパラギンの影響

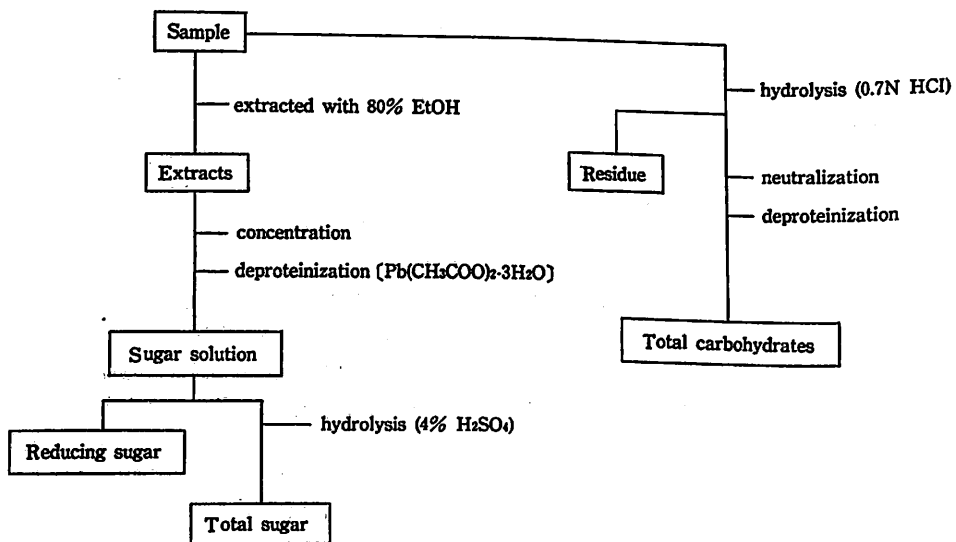


Fig. 1. Analytical procedure of the carbohydrates.
Nonreducing sugar=Total sugar-Reducing sugar.

Table 3. Basal composition of chemically defined diet

Agar	1.0g	Cholesterol	0.02g
Cellulose	1.0	Choline chloride	0.1
Glucose	1.0	Sodium ascorbate	0.2
Sucrose	1.0	L-cysteine HCl	0.03
Amino acid mixture*	2.0	Vitamin mixture**	2.0ml
Salt mixture of Beck et al.	0.4	Water	50.0ml

* Composition of amino-acid mixture

L-Alanine	60 mg	L-Lysine HCl	180 mg
L-Arginine HCl	60	L-Methionine	60
L-Aspartic acid	120	L-Phenylalanine	90
L-Cystine	30	L-Proline	180
L-Glutamic acid	380	L-Serine	90
Glycine	30	L-Threonine	90
L-Histidine	60	L-Tryptophane	60
L-Hydroxyproline	30	L-Tyrosine	60
L-Isoleucine	120	L-Valine	120
L-Leucine	180	Total	2000

** Composition of vitamin mixture (mg per 1000 ml of water)

Thiamine hydrochloride	200 mg
Riboflavin	100
Nicotinic acid	200
Pyridoxine hydrochloride	100
Calcium pantothenate	200
Folic acid	20
Biotin	20
P-Aminobenzoic acid	200
Inositol	2000

供試稲の分析の結果、遮光稲中のアスパラギンの濃度が異常に高いことから、アスパラギンの幼虫発育への悪影響が示唆された。それを確かめるため人工飼料(釜野, 1971) にアスパラギンの量を変えて添加し (0.3%, 0.6%, 0.9%, 1.2%, 2.0%), 幼虫発育の変化を調査した。人工飼料の組成は Table 3 に示した。

結果および考察

1 供試稲の生育

Fig. 2 に示すように遮光処理を施した少照区の稲は多照区に比べて草丈が高く、茎数が少なかった。

2 食入初期における幼虫の生存と発育

食入10日後の調査結果を Table 4 に示した。まず生存率をみると少照区で明らかに高かったが、これは遮光処理により稲作組織が軟弱化してふ化幼虫の食入が容易になったことが主因であり、さらに温度や湿度などの微気象の要素も遮光区において幼虫の食入に有利に働いたものと考えられる。一方、幼虫の生体重は逆に多照区で重かった。

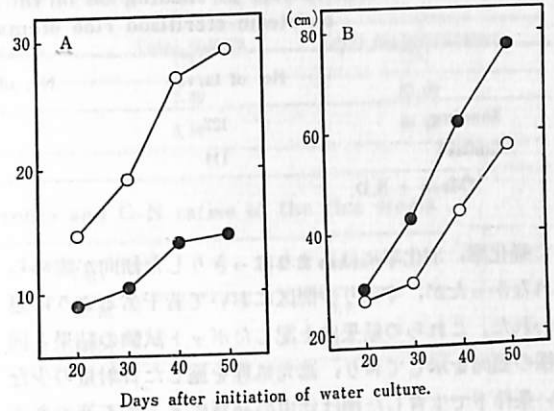


Fig. 2. Effect of shading on rice growth. A : number of stems. B : plant height. ●—● : shaded rice. ○—○ : normal rice.

Table 4. Effect of shading on larval survival and growth (10 days after hatching).

	Survival rate (%)	Body weight (mg)*
Shading	41.6	3.1±1.25
Control	34.9	6.0±0.82

* Mean ± S.D.

3 幼虫の経時的発育調査

食入後10日から35日に至る幼虫の発育状況を調べた結果は Fig. 3 に示した。いずれの調査時においても少照区での幼虫発育が不良であり、本虫の食餌として少照区の稲が多照区のそれに比べて栄養的に劣っているものと考えられる。

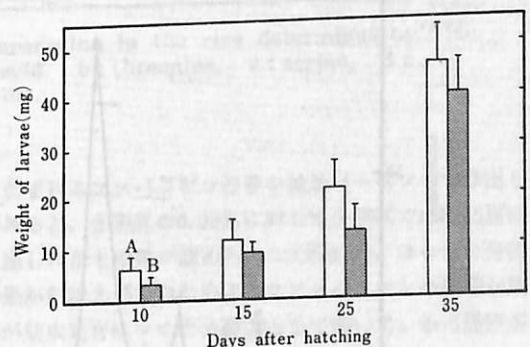


Fig. 3. Effect of shading on larval growth. A : larval weight on normal rice. B : larval weight on shaded rice.

4 無菌飼育による幼虫発育調査

調査結果を Table 5 に示した。まず、幼虫発育の良否を示す生体重は明らかに多照区において重かった。ま

Table 5. Effect of shading on larval growth. (Data obtained by rearing insects on steam-sterilized rice stems under aseptic conditions).

	No. of larvae	No. of pupae	No. of adults	Weight of larvae* (mg)
Shading	127	2	1	24.7±3.26
Control	114	5	3	30.6±2.80

*Mean ± S.D.

た蛹化率、羽化率にはあまりはっきりした傾向が認められなかったが、やはり少照区において若干劣るように思われた。これらの結果は上記したポット試験の結果と同様の傾向を示しており、遮光処理を施した日射量の少ない条件下で生育した稲は幼虫の発育にとって不適であると思われる。

5 幼虫の体液蛋白質への影響

ニカメイガ幼虫の体液蛋白質はポリアクリルアミドゲル電気泳動法によって、陰極から陽極へと移動する四つの主泳動帯に分離される。移動度の最も大きい泳動帯がアルブミンで、原点に近づくにしたがい α グロブリン、 β グロブリン、 γ グロブリンの順に並んでいる。

日射量を異にした稲で飼育した終令幼虫の体液蛋白質の状態はほぼ Fig. 4 に示した例に代表される。調査したそれぞれ10個体について吸光度の平均値を求めたところ、少照区の方が多照区に比べて、特にアルブミンの濃度が低かった。

釜野・湯島(1967)は組成の異なる人工飼料を用いて、ニカメイガ幼虫を休眠条件下で飼育し、飼料の成分

による幼虫の発育と電気泳動法によって得られた体液蛋白質分画との間に明瞭な関係のあることを見出し、この方法が幼虫の生理的活力と飼料価値の判定法として有効であると述べている。ここでの実験結果、すなわち、少照区の稲で育った幼虫の体液蛋白質濃度が多照区のそれに比べて低いということから、日射量の少ない条件下で栽培された稲は、通常稲に比べてニカメイガ幼虫に対する飼料的価値が低いものと思われる。

6 供試稲の成分分析

1) 炭水化物

Table 6 に示したように、還元糖、非還元糖を含む全糖量、さらには全炭水化物量とも多照区において高い値を示した。

2) 全窒素ならびに粗蛋白

全窒素、粗蛋白とも少照区の稲で多く、多照区に比べて約20%の増加が認められた (Table 7)。

3) 遊離アミノ酸

アミノ酸自動分析機を使用することによって稲体を構成しているほとんどのアミノ酸、約30種の分析が可能で

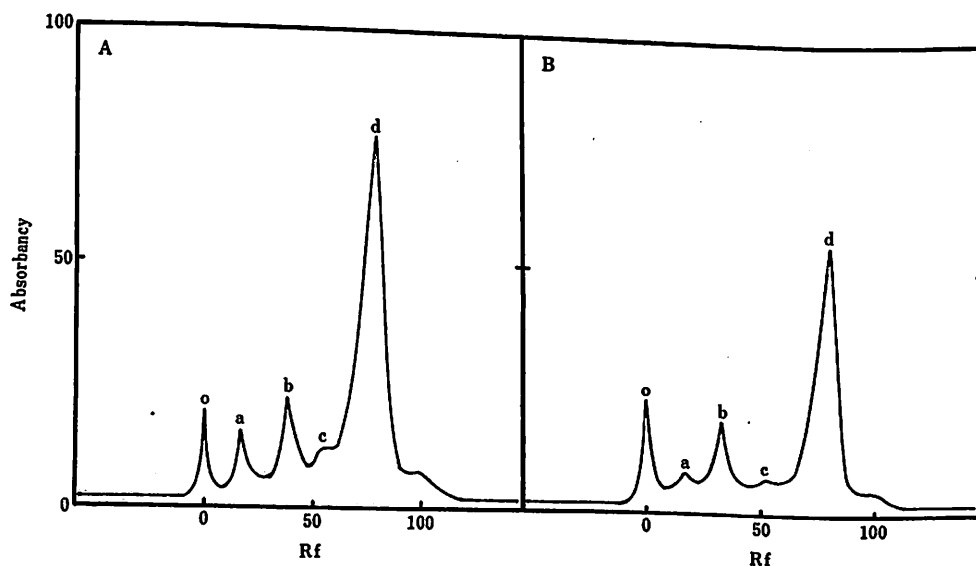


Fig. 4. Effect of shading on haemolymph protein of larva, determined by polyacrylamide-gel electrophoresis. o: starting point. a: γ globulin. b: β globulin. c: α globulin. d: albumin. A: larva on the normal rice. B: larva on the shaded rice.

Table 6. Effect of shading on carbohydrate contents of the rice stems.

	Reducing sugars (%)	Nonreducing sugars (%)	Total sugars (%)	Total carbohydrates (%)
Shading	1.22	2.58	3.80	25.00
Control	2.16	3.34	5.50	30.88

Table 7. Effect of shading on nitrogen contents and C-N ratios of the rice stems

	Total nitrogen (%)	Crude protein* (%)	C-N ratios**
Shading	3.65	22.81	6.8
Control	2.96	18.50	10.4

* Total nitrogen (%) × 6.25
 ** Total carbohydrate (%) / Total nitrogen (%)

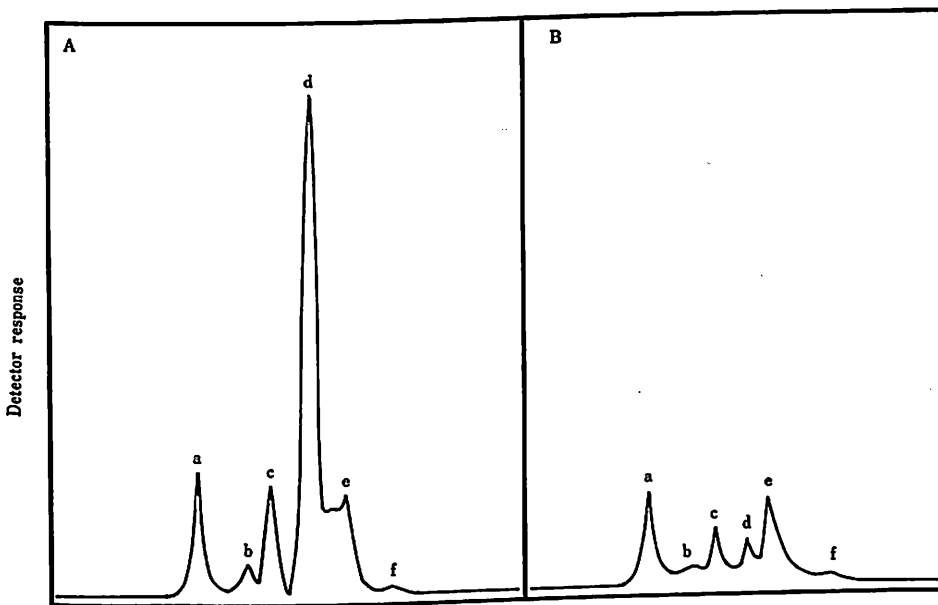


Fig. 5. Effect of shading on the amount of asparagine in the rice determined by amino acid autoanalyzer. a: aspartic acid. b: threonine. c: serine. d: asparagine. e: glutamine. f: homoserine. A: shaded rice. B: normal rice.

あった。ピーク高をもとに量的な比較を行なってみると、遮光した稲ではほとんどのものが増えており、特にニカメイガの発育に大きな影響があると考えられるアルギニン、ヒスチジン、ロイシンをはじめとする十数種類の必須アミノ酸はいずれも、少照区において多照区の約2~3倍に増加していた。この結果は、遮光処理によって何らかのアミノ酸が欠落もしくは減少することによる栄養的価値の低下が発育を抑制しているのではないことを示している。

もう一点、分析結果で特徴的だったことはアスパラギンが遮光処理によって著しく増加したことである。標準サンプルを用いて検量曲線を求め、それを基に、稲体中

に含まれるアスパラギンの量を重量パーセントで算出してみると、多照区の0.03%に対して少照区では0.45%にも達し15倍もの差が認められた (Fig. 5)。ここでの分析結果から遮光稲でのこのようなアスパラギンの極端な増加が幼虫発育にマイナス要因として働いている可能性が考えられた。

7 幼虫発育に対するアスパラギンの影響

卵塊接種30日後の幼虫生体重は各濃度において多少のパラッキがあるものの0.9%段階まではほとんど差が認められず、それ以上の濃度になってはじめて減少した (Fig. 6)。上記したように遮光処理を行なった稲体内のアスパラギン含量は通常稲に比べて、著しく増加するこ

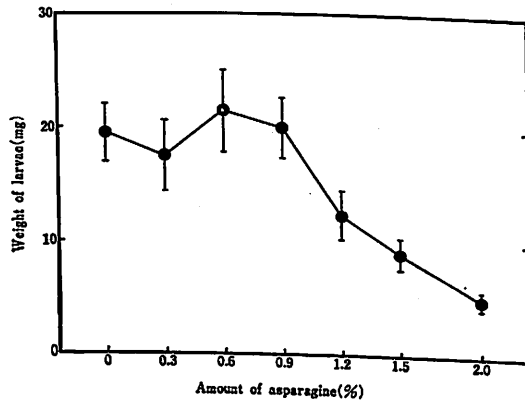


Fig. 6. Effect of asparagine incorporated to the artificial diet on larval growth. Vertical lines indicate the standard deviation.

とが確認されたが、その量はせいぜい0.45%であり、ここでの試験結果からして、少照区における幼虫発育不良の原因を、単にアスパラギンの増加のみに帰することはできない。

総合考察

緑色植物は無機物である水と炭酸ガスとを原料とし、光のエネルギーを利用して有機物（炭水化物）を合成する。多くの動物はこうしてできた有機物に自己の生命の保持を委ねる。昆虫としてその例外ではない。本研究では種々の気象要因のなかでも、特に光の強弱が稲の体内生理に与える影響に着目し、その稲を餌とするニカメイガの生存や発育にいかなる影響をおよぼすのか食物連鎖的観点より究明しようとした。もとより寄主植物の栄養状態と害虫の発育や増殖との関わりについては、ここでとりあげたニカメイガ（石井・平野, 1958, 1959）をはじめとして、アワヨトウ（小山, 1966）、トウモロコシアブラムシ（Itō and Hirano, 1963）、トビイロウンカ（寒川, 1970；杉本・山崎, 1969）、ヒメトビウンカ（高橋・小野, 1965）など、かなり多くの種において調べられている。しかし、これらのほとんどは施肥や寄主植物の発育ステージとの関係について論じたものであり、同化作用のエネルギー源としての日射量に着目し、その間接的影響について検討した例は、僅かにツマグロヨコバイにおける大矢・鈴木（1971）の報告に止まる。彼らは遮光処理によって日射量を制限した稲上でツマグロヨコバイの飼育を試みた結果、無処理区に比べて幼虫の発育が著しく遅延し、成虫の生体重も軽く、産卵数も減少することを確認した。ニカメイガの場合もツマグロヨコバイと同様、遮光処理を施した稲は食餌として不適である。幼虫の発育が通常の稲に比べて著しく減少し、生理的活力

の指標となる体液蛋白質の濃度も低下した。

石井・平野（1958, 1959）は窒素施肥とニカメイガとの関係を調べ、窒素欠乏稲での幼虫発育が顕著に抑制されることを明らかにした。さらに平野（1964）は、その原因を究明するため、稲体成分、特に炭水化物と窒素化合物の比（C-N比）の幼虫発育におよぼす影響を詳細に調査した結果、それらの間には非常に高い負の相関関係が存在することを確認した。

著者もまた、日射量を制限された稲においてみられた幼虫発育抑制の原因を究明するため、供試稲の成分分析を試み、糖を含む炭水化物と全窒素、粗蛋白、遊離アミノ酸の含量を調べ、多照区と少照区とで比較した。その結果、C-N比（全炭水化物と全窒素の比）は多照区よりも少照区で低かったことから、上記した平野の結果をあてはめることはできなかった。さらに遊離アミノ酸中アスパラギンの量が少照区の稲で著しく増加していたことから、幼虫発育へのアスパラギンの悪影響が考えられたが、それも実験的に裏付けることはできなかった。

以上のことから、日射量の異なる条件下で栽培された稲での幼虫発育の差は、C-N比やある種のアミノ酸の影響といった単純な原因によってもたらされるものではなく、蛋白質やビタミン等をも含めた、もっと複雑で微妙な栄養的バランスの違いによって引き起されるものであろうと推察される。

摘 要

日射量の多少が食餌としての稲を通してニカメイガの生存や発育におよぼす影響を調査し、次のような結果を得た。

1 食入初期の幼虫の生存率は遮光処理を行なった少照区において高かった。しかし生体重を指標として調査したその後の幼虫発育は多照区において良好であり、このことは両区の稲を用いた無菌飼育によっても裏付けられた。

2 幼虫の体液蛋白質はアルブミン、グロブリンとも多照区において濃度が高く、少照区の稲は本虫に対する飼料的価値が低いものと思われた。

3 供試稲の成分を分析してみると、糖を含む全炭水化物の量は多照区で多く、粗蛋白や遊離アミノ酸など窒素化合物は少照区で多かった。

4 各種アミノ酸の中ではアスパラギンに大きな量的相違が認められ、少照区では多照区の15倍にも達していた。

5 人工飼料中にアスパラギンを添加し、幼虫発育への影響を調査したが、稲体内に含まれる範囲の量（少照区で0.45%）では全く影響が認められなかった。

以上より、少照区での幼虫発育の不良化現象は、単なるC-N比の変化やある種のアミノ酸の影響ではなく、もっと複雑で微妙な栄養的バランスの変化によってもたらされるものと考えられる。

引用文献

- 1) Hirano, C. (1964) Studies on the nutritional relationships between larvae of *Chilo suppressalis* Walker and the rice plant, with special reference to role of nitrogen in nutrition of larvae. Bull. Nat. Inst. Agric. Sci., C-17, 103-180.
- 2) 石井象二郎・平野千里 (1958) ニカメイガ幼虫の生育に及ぼす水稲への施肥の影響. I 土壌への窒素質肥料の施用量とニカメイガ幼虫の生育. 応動昆. 2 : 198~202.
- 3) 石井象二郎・平野千里 (1959) ニカメイガ幼虫の生育に及ぼす水稲への施肥の影響. II 窒素含量を異にして水耕栽培した水稲における幼虫の生育. 応動昆. 3 : 16~21.
- 4) Itō, Y. and C. Hirano (1963) Population growth, longevity and fecundity of *Rhopalosiphum maidis* FITCH (Homoptera : Aphididae), on wheat and barley seedlings grown under different nutritional conditions. Jap. J. Appl. Zool. 7 : 132~139.
- 5) 釜野静也・湯嶋健 (1967) 人工飼料によるニカメイチュウの累代飼育に関する研究. 第5報 人工飼料の栄養条件と休眠幼虫の健康度. 応動昆. 11 : 119~124.
- 6) 小山重郎 (1966) アワヨトウの大発生とイネの多窒素栽培との関係について. 応動昆. 10 : 123~128.
- 7) 荻田善一 (1965) ポリアクリルアミドゲル電気泳動法 I. 代謝 2 : 331~334.
- 8) 大矢慎吾・鈴木忠夫 (1971) ツマグロヨコバイの増殖機構に関する研究. 第II報 日射量および窒素施用量の異なる栽培水稲での幼虫発育と産卵. 北陸病虫研報. 19 : 45~49.
- 9) 寒川一成 (1970) トビイロウンカの吸汁習性に関する研究. 第1報 窒素欠乏稲での吸汁. 応動昆. 14 : 101~106.
- 10) 杉本達美・山崎昌三郎 (1969) トビイロウンカに関する研究. 水稲施肥が発育. 産卵におよぼす影響. 北陸病虫研報 17 : 29~32.
- 11) 高橋広治・小野小三郎 (1965) 窒素の施用量とヒメトビウンカの吸汁および吐出との関係. 関東東山病虫研報 12 : 15.

(1983年8月20日受領)