数種の下胚軸伸長型マメ科作物芽ばえの荷重に対する反応

鄭 紹 輝・井 之 上 準

(九州大学農学部)

平成3年1月31日受理

要 旨 : 下胚軸伸長型マメ科作物 8 種 9 品種を供試し、25°C 暗黒条件下で育てた長さ 1 cm の芽ばえに荷重をかけ、48 時間後に芽ばえの伸長量、エチレン発生量および下胚軸の太さを調査した。その結果、荷重が増大するに従って芽ばえの長さが短くなり、エチレン発生量および下胚軸の太さが増大した。芽ばえの伸長が無処理区に比べ有意 (5% 水準) に抑制された「最小荷重」はモスビーン、ケツルアズキは 5 g、ダイズ : アソアオガリは 7.5 g、リョクトウ、ササゲは 10 g、ダイズ : アキセンゴクは 20 g、インゲンマメ、フジマメは 30 g、ラッカセイは 160 g であった。一方、芽ばえからのエチレン発生量の増大については、(i) 有意な増加が「最小荷重」より小さい荷重で起こった作物 : モスビーン、インゲンマメ、ラッカセイ、(ii) 「最小荷重」と同じ荷重で起こった作物 : リョクトウ、ダイズ : アキセンゴク、および (iii) 「最小荷重」より大きい荷重で起こった作物 : ケツルアズキ、ダイズ : アソアオガリ、ササゲ、フジマメ、の 3 種類がみられた。また、下胚軸の有意な肥大は、各作物とも芽ばえの伸長抑制およびエチレン発生量の有意な増加がみられた荷重と同じか、それより重い荷重で起こった。芽ばえの「最小荷重」は種子重 ($r=0.851^{**}$)、下胚軸の太さ ($r=0.978^{***}$) および最大抽出力 ($r=0.922^{***}$) と高い正の相関関係が認められた。胚軸の単位横断面積当りに換算した値でみると、エチレン発生量が有意に増加した最小の荷重は各作物ともほぼ同程度であったのに対し、「最小荷重」は作物によって異なり、ササゲやケツルアズキでは小さく、ラッカセイやインゲンマメでは大きかった。また、芽ばえの伸長が最も抑制された荷重「最大荷重」は 40~320 g で、ササゲを除けば「最小荷重」が大きい作物の芽ばえほど大きく、芽ばえの最大抽出力よりやや小さかった。

キーワード : エチレン, 下胚軸, 最小荷重, 出芽, マメ科作物, 芽ばえ。

Response to Vertical Load in the Seedlings of Several Epigeal Leguminous Crops : Shao-Hui ZHENG and Jun INOUE (*Faculty of Agriculture, Kyushu University, Fukuoka 812, Japan*)

Abstract : Etiolated seedlings (1 cm height) of several epigeal leguminous crops, grown in the soil with 13% moisture at 25°C, were used to investigate the response against the imitated pressure of covered soil after sowing. Changes in hypocotyl length, stem thickness and ethylene production were measured 48 hs after placing various weights on the tip of the seedlings.

Accompanying with the increase of weights, decrease in hypocotyl length and increase of ethylene production as well as hypocotyl thickness were observed. The minimal sensitive weight (M. S. W.), in which the elongation of hypocotyl was inhibited significantly (at 5% level), was 5 g in moth bean and black gram, 7.5 g in soybean cv. Asoagari, 10 g in mung bean and cowpea, 20 g in soybean cv. Akisengoku, 30 g in kidney bean and hyacinth bean and 160 g in peanut. The ethylene production was found to increase significantly (i) at smaller weights than the M. S. W. in the seedlings of moth bean, kidney bean and peanut, (ii) at about the same M. S. W. in the seedlings of mung bean and soybean cv. Akisengoku, and (iii) at larger weights than the M. S. W. in the seedlings of other species. Hypocotyl thickness increased significantly at the same or larger weights than those of inhibited elongation and enhanced ethylene evolution of the seedlings. The M. S. W. was found to correlate positively with seed weight ($r=0.851^{**}$), stem thickness ($r=0.978^{***}$) and maximal elongation force ($r=0.922^{***}$). The M. S. W. per unit stem thickness was smaller in the seedlings of black gram and cowpea, larger in the seedlings of peanut and kidney bean compared with those of the other species. The weights that inhibited hypocotyl elongation mostly were smaller than maximal elongation force and correlated significantly with the M. S. W. in all species except cowpea.

Key words : Emergence, Ethylene, Hypocotyl, Leguminous crops, Minimal sensitive weight, Seedlings.

マメ科作物の芽ばえは、その出芽過程において簡単に押し除けたり貫通したりできないような土塊やクラストに遭遇すると、芽ばえから発生するエチレン量が増加し^{1,5,6)}、胚軸が太くなり^{1,2,5,6)}、その結果として芽ばえの抽出力が増大^{5,6)}して出芽するもののである。

ところで、下胚軸伸長型マメ科作物の芽ばえは子

葉を地上に押し上げるようにして出芽するため、芽ばえの頂部が出芽中に受ける土壤抵抗は上胚軸伸長型のマメ科作物に比べて大きいと考えられ、下胚軸伸長型作物においても、子葉の大きさ(種子の大きさ)が異なる作物間では、芽ばえが出芽中に受ける土壤抵抗は異なるものと思われる。

本報では、前報⁶⁾と同じく下胚軸伸長型の 8 種作

物を用いて、芽ばえがストレスとして感じる荷重はどの程度の重さからなのか、また、それらの荷重に対する芽ばえの反応の仕方は作物によって異なるのかどうかなどについて実験を行ったので、その結果について述べる。

材料と方法

供試したマメ科作物は下胚軸伸長型の8種9品種(第1表)で、供試した種子は前報⁶⁾と同じ方法で準備されたもので、実験には各作物・品種ごとに平均1粒重とほぼ同じ重さの種子を選んで用いた。

芽ばえの育成: 内径2.7 cm、高さ25 cmのガラス管瓶を用い、前報^{5,6)}と同じく乾熱滅菌し、含水率約13%に調整した有機物含量の少ない砂質土壌を詰めて播種床を作成した後、あらかじめ発根させておいた種子(種子根長:2~5 mm)を芽ばえが上方へまっすぐ伸長するように、管瓶1本当たり1粒置床した。覆土の厚さは1.5 cmとし、無鎮圧であった。覆土後、管瓶はゴム栓で密封し、25(±1)℃暗黒条件の恒温器内に搬入した。なお同時に、播種床土壌から発生するエチレン量を測定するために、播種しない区を設けた。

荷重処理: 芽ばえが長さ1 cmに伸長した時に覆土を除去し、管瓶内の空気を入れ換えた後、重さ1~320 gの荷重を、芽ばえが伸長すればすぐ当たるように芽ばえの頂部(ラッカセイでは子葉、他の作物ではフックの頂部)にわずかに離してぶら下げた(第1図)。その後、管瓶に再び密栓し、25(±1)℃の恒温器内(暗黒)に置いた。なお、荷重処理の操作は、芽ばえの伸長に及ぼす光の影響をできるだけ少なくする目的で、数枚の緑色セロハンフィルムを巻いた蛍光灯(20 W)の照明⁴⁾下で行った。

測定項目: 荷重処理開始48時間後に各管瓶内からヘッドスペースガス1 mlを採取し、ガスクロマ

トグラフ(島津製作所製、GC 12-A型)を用いてエチレンガスの定量分析を行った。分析条件は前報⁵⁾と同じであった。なお、芽ばえのエチレン発生量は、芽ばえを含む各ガラス管瓶のエチレン量から芽ばえを含まない播種床だけのガラス管瓶のエチレン量を差し引いた値とした。エチレン量を測定後、管瓶内から芽ばえを取り出し、芽ばえの長さ、下胚軸の太さ(最も肥大した部位の横断面積)を測定した。

なお、芽ばえの抽出力の測定はそれぞれの芽ばえが長さ1 cmに伸長した時に前報⁵⁾と同じ方法で行った。各実験区の供試個体は5~15本であり、荷重処理区と無処理区の間にはt-検定による有意差検定を行った。

第1図 芽ばえに荷重を加える方法。

第1表 供試した作物および品種。

和名	学名	英名	品種	粒重(mg)
ラッカセイ	<i>Arachis hypogaea</i> L.	peanut	Ran	391
インゲンマメ	<i>Phaseolus vulgaris</i> L.	kidney bean	金時小豆	238
フジマメ	<i>Lablab purpureus</i> Sweet.	hyacinth bean	赤花フジマメ	216
ダイズ	<i>Glycine max</i> Merr.	soybean	アキセンゴク	216
			アソアオガリ	110
ササゲ	<i>Vigna unguiculata</i> Walp.	cowpea	TVX2949	87
リョクトウ	<i>V. radiata</i> R. Wilczek	mung bean	ブンドウマメ	52
ケツルアズキ	<i>V. mungo</i> Hepper	black gram	black gram 3061	50
モスビーン	<i>V. aconitifolius</i> Marechal	moth bean	moth bean 528	24

結果と考察

芽ばえが感応した最小の荷重

それぞれの作物・品種について、荷重処理 48 時間後の芽ばえからのエチレン発生量、芽ばえの長さおよび下胚軸の太さを測定し、無処理区に対する倍率としてその結果を第 2 図に示した。各作物・品種と

も「ある重さ」以下の荷重処理区では芽ばえの生長やエチレン発生量は無処理区と有意（5% 水準）な差がみられなかったが、荷重が「ある重さ」以上になると無処理区に比較して芽ばえの長さは有意に短くなり、エチレン発生量や下胚軸の太さが有意に増大した。

まず処理区の芽ばえの長さが無処理区の芽ばえの

第 2 図 芽ばえの荷重に対する反応。

●: 下胚軸の伸長, ■: 下胚軸の肥大, ▲: エチレン発生量。

縦軸は無処理区に対する荷重処理区の倍率。

S: ストッパーによる⁹⁾伸長阻止処理。

矢印(↑)は芽ばえの伸長が有意(5% 水準)に抑制された最小の荷重。

長さに比較して有意に短くなった最小の荷重（以後、「最小荷重」と呼ぶ）についてみれば、モスビーンおよびケツルアズキで最も小さく 5 g、ついでダイズ：アソアオガリは 7.5 g、リョクトウおよびササゲは 10 g、ダイズ：アキセンゴクは 20 g、フジマメおよびインゲンマメは 30 g の順で、ラッカセイが最も大きく 160 g であった。ところが、エチレン発生量が無処理区に比較して有意に増加した最小の荷重は、モスビーンで最も小さく 3 g、ついでケツルアズキ、リョクトウおよびダイズ：アソアオガリは 10 g、ササゲは 15 g、ダイズ：アキセンゴクおよびインゲンマメは 20 g、フジマメは 40 g、ラッカセイは最も大きく 60 g であった。一方、芽ばえの下胚軸の太さが有意に増大した最小の荷重は、供試した全作物において、芽ばえの伸長抑制およびエチレン発生量の増加が有意に認められた最小の荷重の大きい方の値と同じか、それより大きかった。

以上から、本実験に用いたマメ科 8 種 9 品種の芽ばえの荷重に対する反応には、(i) エチレン発生量の有意な増大が「最小荷重」より小さい荷重で認められた作物：モスビーン、インゲンマメおよびラッカセイ、(ii) エチレン発生量の有意な増大が「最小荷重」で認められた作物：リョクトウおよびダイズ：アキセンゴク、および (iii) エチレン発生量の有意な増大が「最小荷重」より大きい荷重で認められた作物：ケツルアズキ、ササゲ、ダイズ：アソアオガリおよびフジマメ、の 3 種類がみられた。

Goeschl ら¹⁾によれば、頂部に物理的なストレスを加えられたエンドウの芽ばえでは、まずエチレン発生量が増加し、その後に伸長が抑制されたと報告している。また、Samimy and LaMotte³⁾によれ

ば、ダイズ 'Clark' の 25°C で育成された芽ばえでは、20°C や 30°C で育成された芽ばえに比べて下胚軸の伸長が著しく抑制されたが、この原因は 25°C 下ではエチレン発生量が異常に多かったためであろうと報告している。これらの結果は、マメ科作物の芽ばえではエチレンの発生量の増加が伸長抑制に先立って起こることを示唆している。ところが、本実験においてモスビーン、インゲンマメおよびラッカセイの 3 作物ではエチレン発生量の有意な増加が「最小荷重」より小さい荷重で起こったが、ダイズの 2 品種を含む 5 種 6 品種の作物ではエチレン発生量の有意な増加が「最小荷重」と同じか、「最小荷重」より大きい荷重で起こった。このように、本実験においては Goeschl らの結果と一致しない作物の例が見られたが、この原因は、対照区と比較して 5% 水準で有意差が認められた場合に「差がある」としたこと、およびエチレンに対する感受性が作物・品種によってやや異なることによるためではないかと考えられる。なお、(i) 群の作物において、エチレン発生量の有意な増加が認められた最小の荷重と「最小荷重」の差はモスビーンでは 2 g、インゲンマメでは 10 g、ラッカセイでは 100 g であったのに対し、(iii) 群の作物において、「最小荷重」とエチレン発生量の有意な増加が認められた最小の荷重の差はダイズ：アソアオガリでは 2.5 g、ケツルアズキおよびササゲでは 5 g、フジマメでは 10 g であった。

なお、荷重処理によって芽ばえの長さ、エチレン発生量および下胚軸の太さのいずれかが無処理区より有意（5% 水準）に変化した最小の荷重は、モスビーンが 3 g で最も小さく、ついでケツルアズキが

第 2 表 芽ばえの最小荷重と最大抽出力、下胚軸の太さおよび種子重。

作物	最小荷重 (A)* (g)	最大抽出力 (B) (g)	下胚軸の太さ (C)** (mm ²)	種子重 (mg)	A/C (g/mm ²)	B/C (g/mm ²)
モスビーン	5	56	2.18	24	2.29	25.7
ケツルアズキ	5	78	2.87	50	1.74	27.1
ダイズ						
アソアオガリ	7.5	146	3.50	108	2.14	41.7
リョクトウ	10	89	3.63	52	2.75	24.5
ササゲ	10	262	5.71	87	1.75	46.0
ダイズ						
アキセンゴク	20	225	5.34	216	3.75	42.0
インゲンマメ	30	359	7.13	238	4.20	50.4
フジマメ	30	379	8.89	216	3.37	42.6
ラッカセイ	160	753	21.08	391	7.34	35.7

*：荷重処理区の芽ばえの伸長が 5% 水準で有意に抑制された最小の荷重。

**：荷重処理開始時における芽ばえ下胚軸の中央部の横断面積。

5 g, ダイズ:アソアオガリが7.5 g, ササゲおよびリョクトウが10 g, ダイズ:アキセンゴクおよびインゲンマメが20 g, フジマメが30 g で, ラッカセイが最も大きく60 g であった。

芽ばえの「最小荷重」と下胚軸の太さ, 種子重および最大抽出力の関係

第2表より, 長さ1 cm の芽ばえの処理開始時の下胚軸の太さ(中央部の横断面積)と「最小荷重」の関係についてみれば, 下胚軸の太さが小さい作物・品種ほど「最小荷重」は小さく, 両者の間には高い正の相関関係($r=0.978^{***}$)がみられた。荷重処理開始時における芽ばえ下胚軸の横断面積1 mm² 当りに換算した「最小荷重」は, ラッカセイが最も大きく(約7.3 g/mm²), ついでインゲンマメ(4.2 g/mm²), アキセンゴクおよびフジマメ(約3.8~3.4 g/mm²), リョクトウ, モスビーンおよびダイズ:アソアオガリ(約2.8~2.1 g/mm²)の順で, ケツルアズキおよびササゲが最も小さかった(約1.7 g/mm²)。従って, 本実験に用いたマメ科作物についてみれば, ササゲおよびケツルアズキの芽ばえは荷重に対する反応がかなり敏感であるのに対し, ラッカセイおよびインゲンマメの芽ばえは荷重に対する反応が鈍感, その他の作物の芽ばえは中位であると思われるが, ササゲやケツルアズキは「最小荷重」より大きい荷重でエチレン発生量の有意な増大が認められているのに対し, ラッカセイおよびインゲンマメは「最小荷重」より小さい荷重でエチレン発生量の有意な増大が認められており, 供試した作物の中で種子重ならびに下胚軸の太さが最も小さかったモスビーンを除けば, 芽ばえがストレスと感じてエチレン発生量を増加させた最小の荷重を下胚軸の単位横断面積当りに換算した値は, 供試したマメ科作物ではほぼ同程度(2.6~4.5 g/mm²)であった。

一方, 「最小荷重」は種子重および最大抽出力との間にも高い正の相関関係が認められた($r=0.851^{**}$, $r=0.922^{***}$) が, 「最小荷重」は最大抽出力の1/5~1/26 倍で, 下胚軸の単位横断面積当りに換算した「最小荷重」の値が小さい作物では単位横断面積当りに換算した最大抽出力の値も小さかった。ただ, ササゲの芽ばえはやや例外的で, 最大抽出力は大きいのに「最小荷重」は比較的小さかった。作物によるこのような違いは下胚軸の内部組織の違いによるのではないかと考えられる。

荷重処理により芽ばえの伸長が最も抑制された場合の荷重

頂部に「最小荷重」より重い荷重を加えられた芽ばえでは伸長の抑制, エチレン発生量の増加および下胚軸の肥大が増大し, その程度は荷重が重いほど大きくなったが, 「ある重さ」以上の荷重処理区では芽ばえの伸長抑制はほぼ一定になった(第2図)。そこで, その「ある重さ」(以後, 「最大荷重」と呼ぶ)についてみると, モスビーンで最も小さく40 g, ついでケツルアズキ, ダイズ:アソアオガリおよびリョクトウでは80 g, ダイズ:アキセンゴクでは160 g, インゲンマメでは240 g, ササゲ, フジマメおよびラッカセイでは最も大きく320 g であり, ササゲを除いて各作物の芽ばえの最大抽出力よりやや小さかった。ここにおいて, 各作物・品種における「最大荷重」による芽ばえの伸長抑制率(1—荷重処理区の芽ばえの伸長倍率(第2図))は芽ばえの頂部に「ストッパー」をかけた場合⁵⁾とほぼ同程度で, ラッカセイでは21%, ダイズ:アキセンゴクでは46%, その他の作物・品種では56~68% であった。このように, ラッカセイとダイズ:アキセンゴクでは他の作物・品種より伸長抑制率が小さかったが, この原因の一つは無処理区における芽ばえの伸長量が他の作物の芽ばえよりかなり小さかったためであろうと考えられる。なお, 各作物・品種の「最大荷重」を「最小荷重」と比較すると, ササゲを除いたすべての作物において「最小荷重」が小さい作物の芽ばえほど「最大荷重」も小さく, 両者の間には正の相関関係($r=0.728^{*}$)がみられた。一方, 「最大荷重」区におけるエチレン発生量の増加程度(無処理区比)はダイズ:アキセンゴクおよびラッカセイでは3~4 倍であったが, ササゲでは非常に大きく約58 倍であった。また, 下胚軸の肥大程度は, ラッカセイおよびモスビーンでは小さく(無処理区比:約1.1~1.3 倍), ササゲ, インゲンマメおよびダイズ:アソアオガリでは大きかった(同:約1.8~2.2 倍)。このように, 「最大荷重」区における芽ばえのエチレン発生量が多いほど, 下胚軸の肥大程度も大きい傾向がみられた($r=0.725^{*}$)。なお, 「最大荷重」区におけるエチレン発生量や下胚軸の肥大程度は芽ばえの頂部にストッパーをかけた区とほぼ同程度であったことから, 「最大荷重」は芽ばえが出芽しようとして障害物に反撥する限界の力に近いと考えられる。

以上のように, 下胚軸伸長型マメ科作物の芽ばえ

では伸長抑制が現れる「最小荷重」は5~160 gと作物によってかなり異なったが、全体としてみれば種子重が小さく、下胚軸が細く、抽出力が弱い作物ほど「最小荷重」が小さく、土圧に敏感であることが示唆されたが、ササゲでは「最小荷重」が小さく、土圧に敏感であるにもかかわらず、下胚軸が比較的太く、最大抽出力が大きかった。ところで、実際の栽培においては覆土には大小の土塊が含まれており、かつ土粒間の摩擦力や粘着力もあるので、出芽過程において芽ばえにかかる土壌抵抗は本実験で得られた「最小荷重」より大きいことが予想される。従って、芽ばえは伸長抑制を受けてエチレン発生量を増大させ、胚軸を肥大させながら出芽するものと思われる。今後は、一般的な覆土条件下では芽ばえはどの程度のストレスを受けながら出芽するのか、また出芽中にどの程度の荷重がかかれば出芽後の生育に悪影響が現れるのか、などについて明らかにすることが必要であろう。

なお、本実験に供試したマメ科作物の芽ばえにおいては下胚軸の単位横断面積当りに換算したエチレン発生量を増加させるに要する荷重は作物間でほぼ類似した値を示したのに対し、下胚軸の単位太さ当りに換算した「最小荷重」は作物・品種間でかなり異なった。このような差異は、芽ばえ下胚軸の屈曲

抵抗の違いや、荷重条件下における下胚軸の伸長や肥大の様相の違いに起因するのではないかと考えられるので、芽ばえの組織・形態的な調査と併せて、これらの調査が必要と思われる。

謝辞: 本論文の作成に当り有益な助言を頂いた本学部の吉田智彦博士に感謝の意を表します。

引用文献

1. Goeschl, J. D., L. Rappaport and H. K. Pratt 1966. Ethylene as a factor regulating the growth of pea epicotyls subjected to physical stress. *Plant Physiol.* 41: 877-884.
2. Knittle, K. H. and J. S. Burris 1979. Effect of downward force on soybean hypocotyl growth. *Crop Sci.* 19: 47-51.
3. Samimy, C. and C. E. LaMotte 1976. Anomalous temperature dependence of seedlings development in some soybean (*Glycine max* (L.) Merr.) cultivars. *Plant Physiol.* 58: 786-789.
4. ——— 1978. Effect of light on ethylene production and hypocotyl growth of soybean seedlings. *Plant Physiol.* 61: 772-774.
5. 鄭 紹輝・井之上準 1989. ダイズ芽ばえの伸長に伴う抽出力、胚軸の太さ、ならびにエチレン発生量の変化. *日作紀* 58: 357-363.
6. ———・——— 1990. 数種下胚軸伸長型のマメ科作物の芽ばえの抽出力、下胚軸の肥大およびエチレン発生量の比較. *日作紀* 59: 277-282.