ダイズ芽ばえからのエチレン発生量と下胚軸の生長および出芽の関係

鄭 紹 輝・壇 和 弘*・井之上 準

(九州大学農学部)

1996年11月25日受理

要 旨:ダイズの芽ばえの出芽過程においてエチレン発生量の多少が出芽にどのように関わっているかを明らかにする目的で、粒重の異なる中・晩生のダイズ 51 品種を用いて、25°C 暗黒条件下で育てた長さ 3 cm の芽ばえからのエチレン発生量をガスクロマトグラフで測定し、エチレン発生量の多少と芽ばえ下胚軸の伸長、肥大および出芽速度の関係について検討を行った。その結果、芽ばえからのエチレン発生量 (1 個体、48 時間当り) は品種によって 5~84 nL と大きく異なり、粒重が大きい品種ほど発生量は多かった。また、エチレン発生量の差異は特に粒重約 200 mg の品種間では大きかった。一方、土壌抵抗を想定して芽ばえの頂部に荷重をかけた場合のエチレン発生量は、品種によって無荷重区より 1.1~12.9 倍に増大し、その程度は無荷重区でエチレン発生量が少ない小粒の品種ほど大きかった。本実験に供したほとんどの品種においては、エチレン発生量が多い品種ほど、下胚軸が太く芽ばえが土壌抵抗を受けた場合の抽出力が強いと考えられたが、無荷重区では芽ばえ下胚軸の伸長が遅く、出芽まで時間が長かった。ところが、一部の品種では荷重条件下で芽ばえからのエチレン発生量が多く、下胚軸がかなり太かったにもかかわらず、覆土無鎮圧の条件下で播種から出芽までの時間が比較的短かった。後者の品種の芽ばえは下胚軸が太くて伸長が速い特性を有しており、覆土条件に対応して出芽する能力が優れた品種であると思われる。

キーワード:エチレン, 下胚軸の生長, 出芽, ダイズ, 芽ばえ。

Relationships among Ethylene Production, Hypocotyl Growth and Emergence in Soybean Seedlings: Shao-Hui ZHENG, Kazuhiro DAN and Jun INOUE (Faculty of Agriculture, Kyushu University, Fukuoka 812-81, Japan)

Abstract: Fifty-one soybean [*Glycine max* (L.) Merr.] cultivars having different seed sizes were examined to evaluate the relationships among ethylene production, hypocotyl growth and emergence of seedlings. Endogenous ethylene produced by 3-cm tall etiolated seedlings grown in soil with 13% moisture at 25°C was determined by gas chromatography. After ethylene determination, the same seedling was subjected for measurement of hypocotyl length and diameter. Ethylene production during 48 hours by a seedling ranged from 5 to 84 nL among the cultivars and correlated significantly with seed size, while production varied largely within cultivars with a seed size of about 200 mg. However, when the elongation of a seedling was restricted by a stopper, ethylene production from a seedling was multiplied 1.1 to 12.9-fold as compared to that of an unrestricted seedling. The increase of ethylene production from restricted seedlings was larger in the small seeds in which the seedling ethylene production was lower under the unrestricted condition. High ethylene producing seedlings had thick hypocotyls seemingly to enable the exertion of strong elongation force, while hypocotyl elongation rate was low and the time required for emergence was long. However, in a few cultivars, their seedlings were found to require only a short time for emergence under loose soil conditions though the seedlings produced high ethylene and a thick hypocotyl against elongation restriction. Those cultivars were considered to be superior for emergence under various soil conditions, depending on both the high elongation rate and the thick hypocotyl of the seedling.

Key words: Emergence, Ethylene, Hypocotyl growth, Seedlings, Soybean.

エンドウやダイズなどマメ科作物の芽ばえは、頂部に物理的なストレスを受けるとエチレンを発生し、その作用で胚軸が肥大し、結果として抽出力が増大して出芽するとされている^{2,6,7,12,13,14)}が、エチレンを特異的に多く発生するダイズ品種では出芽まで日数が長いという報告^{9,10,11)}がある。これらの事実は、ダイズでは不良土壌環境条件下における芽ばえからの内生エチレンの発生量の多少は、出芽の良否に関わる重要な要因であることを示していると考

えられる。

本報では、ダイズ 51 品種を用いて、土壌抵抗の異なる条件下における芽ばえからのエチレン発生量を測定し、エチレン発生量の多少と芽ばえの伸長や下胚軸の肥大および出芽速度との関係を検討した。

材料と方法

供試したダイズは、主に西日本で栽培されている中・晩生 (IIIc~Vc) の 51 品種であった。これらの品種を学内の砂質壤土の圃場で栽培し、収穫後、低温 (5°C)・乾燥条件下で貯蔵中 (6~12 ケ月) の種

* 現在: 農林水産省野菜・茶業試験場, 三重県安芸郡安濃町大字草生 360.

子について、各品種の 100 粒重を測定して算出した平均 1 粒重を基準に、 ± 10 mg の範囲にある粒を秤量・選別して用いた。なお、本条件下で貯蔵中の種子を用いた芽ばえからのエチレン発生量は、貯蔵期間を通じてほぼ一定であった。

芽ばえから発生するエチレンの定量: 芽ばえの育成法、芽ばえへの荷重のかけ方およびエチレンの測定法は既報¹²⁾ とほぼ同じであったので、ここにはその概略について述べる。

内径 2.7 cm、高さ 25 cm、ゴム栓付のガラス管瓶を用い、乾熱滅菌された有機物含量の極めて少ない砂質土壌（含水率：13%）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を、芽ばえが上方へまっすぐ伸長するように 1 管瓶当り 1 粒置床した。その後、約 3 cm の厚さに覆土して 25°C・暗黒条件下の恒温器に搬入した。芽ばえが 3 cm に伸長したときに覆土を除去し、ガラス管瓶内の空気を完全に新しい空気と入れ換えた後、土壌抵抗を想定して、一部の芽ばえの頂部には「ストッパー」をセットして荷重処理した。処理開始後 24 時間目および 48 時間目に、その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、GC12-A 型、Porapak Q を充填した長さ 2 m、内径 3 mm のステンレスカラム装着）分析に供した。なお、本実験においては、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を、芽ばえのエチレン発生量として示した。上記の実験期間中における操作は、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、数層の緑色セロハンフィルムで包んだ蛍光灯（15 W）の照明下で速やかに行った。エチレン測定後に芽ばえを掘り出し、その長さおよび下胚軸の長径と短径を測定した。

なお、各品種とも 1 区当り 8~10 本の芽ばえについて測定し、平均値を算出した。その結果、処理開始時に長さが 3 cm であった芽ばえ 1 個体の 24 時間後のエチレン発生量は、各品種とも 48 時間後の発生量のほぼ半分であったため、本報では芽ばえからのエチレン発生量は 48 時間後の値を用いた。

出芽実験: 塩化ビニル製容器（18×13.5×12 cm）を用い、上記の実験と同じ砂質土壌を詰めて播種床を作成し、1 容器当り 1 品種 20 粒を播種した。その後、同じ土壌を 5 cm の厚さに覆土し（無鎮圧）、25°C・暗黒条件の恒温器に搬入した。出芽調査は播種後 3 日目より 12 時間ごとに行い、出芽率が 50% に達するまでの時間を出芽所要時間とした。

結果と考察

1. 芽ばえからのエチレン発生量の品種間差異

第 1 表に示したように、ダイズ芽ばえ 1 個体からのエチレン発生量は無荷重区では 5~84 nL と品種間で差異がみられたが、供試した 51 品種のうち 25 品種は 11~30 nL であった。一方、荷重処理区の芽ばえのエチレン発生量は 43~138 nL で、無荷重区に比較して 1.1~12.9 倍、全品種平均で 4.9 倍に増加したが、その程度は無荷重区で発生量が少ない品種ほど大きかった（ $r = -0.800$, $P < 0.001$ ）。

芽ばえのエチレン発生量と粒重の関係についてみると（第 1 図）、無荷重区、荷重区ともに粒重が大きい品種ほどエチレン発生量が多かったが、粒重が 200~240 mg の品種間ではエチレン発生量の差異が大きく、無荷重区では 13 nL（山口秋大豆：粒重 236 mg）~45 nL（赤莢：同 213 mg）、荷重区では 55 nL（茶大豆：同 224 mg）~138 nL（アキセンゴク：同 235 mg）であった。エチレン発生量と粒重の相関は無荷重区では 0.1% 水準で（ $r = 0.755$ ）、荷重区では 1% 水準で（ $r = 0.420$ ）有意であった。なお、粒

Table 1. Distribution of cultivars in ethylene production of seedlings.

	Ethylene production by a seedling during 48 hours(nL)							
	~10	11~20	21~30	31~40	41~50	51~60	61~70	
Non-stopper	8	13	12	9	6	2	0	
Stopper*					2	3	3	
	Ethylene production by a seedling during 48 hours(nL)							Total number of cultivars
	71~80	81~90	91~100	101~110	111~120	121~130	131~140	
Non-stopper	0	1						51
Stopper*	9	5	10	8	5	3	3	51

*A stopper was placed on the top of seedling to restrict the elongation.

Fig. 1. Correlation between seed weight and ethylene production of seedlings.

A stopper was placed on the top of seedling to restrict elongation.

Fig. 2. Correlation between ethylene production and hypocotyl length of seedlings.

Same explanation as in fig. 1.

重と単位粒重当りに換算したエチレン発生量の間には、無荷重区では有意な相関がみられなかった ($r = -0.266$) が、荷重区では 0.1% 水準で有意な負の相関が認められた ($r = -0.688$)。このことは、荷重条件下では小粒品種の芽ばえほど多量にエチレンを発生したことを示唆している。

2. 芽ばえからのエチレン発生量と芽ばえの伸長、肥大および出芽の速さ

第2図にみられるように、無荷重区ではエチレン発生量が多い品種ほど芽ばえの伸長量が小さく、両者の間には 0.1% 水準で有意な負の相関 ($r = -0.786$) がみられたが、荷重区では無荷重区でエチレン発生量が少なく、伸長量が多い品種ほど芽ばえの伸長が抑制されたため、エチレン発生量と芽ばえの伸長量の間には有意な相関はみられなかった ($r = -0.179$)。

エチレン発生量と出芽の速さの関係についてみると (第3図)、25°C・覆土の厚さ 5 cm (無鎮圧) の条件下における播種から出芽までは 132~276 時間で、全体的には無荷重区において芽ばえのエチレン発生量が多い品種ほど出芽までに長時間を要した

Fig. 3. Correlation between ethylene production and time required to emergence of seedlings.

Emergence was obtained at 25°C and 5 cm deep sowing conditions, and ethylene production was from the non-stopper seedlings.

が、極大豆と碁石豆ではエチレン発生量が少ない (ともに 15 nL) のに出芽が遅く (218 と 240 時間)、反対に、ナカセンナリなど 5 品種ではエチレン発生量が多い (42~52 nL) のに出芽が比較的速かった (168~180 時間)。

ところで、出芽所要時間は、発芽の速さと発芽後の芽ばえの伸長の速さの和によると考えられるが、粒重が 88~358 mg の 17 品種を供試して、25°C・覆土の厚さ 5 cm の条件下で実験した結果によれば、「出芽所要時間」と「播種から発芽まで時間」の間には 1%水準で ($r=0.581$), 「発芽から出芽まで時間」の間には 0.1%水準で有意な正の相関 ($r=$

Fig. 4. Correlation between ethylene production and hypocotyl thickness of seedlings. Same explanation as in fig. 1.

0.986) がみられた。この結果は、ダイズでは播種から発芽までの長さより発芽後の芽ばえの伸長の速さが、品種によって異なる程度が大きいことを示していると思われる。なお、前述の出芽所要時間が長かった極大豆と碁石豆の 2 品種および短かったナカセンナリなど 5 品種における播種から発芽までの時間は、平均でそれぞれ 38 時間と 37 時間であり、他の 10 品種 (平均: 36 時間) とほとんど同じであった。これらのことから、出芽の遅速は芽ばえの伸長速度による影響が大きいと考えられ、エチレン発生量が多いのに出芽が比較的速い品種は、芽ばえの伸長がエチレンに鈍感なためではないかと考えられた。

つぎに、第 4 図によれば、無荷重区、荷重区ともに芽ばえのエチレン発生量が多い品種ほど下胚軸が太かったが ($r=0.917$, $r=0.611$, とともに $P<0.001$), 荷重区ではエチレン発生量が少ないのに下胚軸が比較的太い品種もみられた。なお、荷重区の下胚軸の太さ (横断面積) は無荷重区の下胚軸に比較して 1.2~2.0 倍、平均では約 1.6 倍であった。また、荷重処理による下胚軸の肥大倍率とエチレン発生量の増大倍率の間には 0.1%水準で有意な正の相関 ($r=0.757$) が、肥大倍率と粒重の間には 0.1%水準で有意な負の相関 ($r=-0.603$) がみられ、単位粒重当りに換算した芽ばえ下胚軸の太さは小粒の品種ほど大きかった。

3. 芽ばえのエチレン発生量と伸長・肥大の関係からみた出芽能力

第 2 表によれば、小粒品種は無荷重区では芽ばえのエチレン発生量は少なく下胚軸の伸長が速かつ

Table 2. Ethylene production, hypocotyl growth and emergence rapidity of different seed size seedlings*.

Seed size	Seed weight (mg)	No. of cultivars	Ethylene production (nL/plant)			Hypocotyl length (cm)		
			NS**	S**	S/NS	NS	S	S/NS
Small	~200	16	11.0	77.8	7.1	9.2	5.9	0.64
Middle	201~300	25	30.8	99.2	3.2	7.0	5.4	0.77
Large	301~	10	37.9	98.8	2.6	6.3	5.0	0.79

Seed size	Seed weight (mg)	No. of cultivars	Hypocotyl thickness (mm ²)			Emergence rapidity***
			NS	S	S/NS	
Small	~200	16	4.7	7.9	1.7	154
Middle	201~300	25	6.8	10.2	1.5	188
Large	301~	10	8.0	10.7	1.3	222

*Measured after 48 hours growing of 3 cm tall seedlings.

**NS: non-stopper, and S: a stopper was placed on the top of seedling to restrict the elongation.

***Hours from sowing to emergence at 25°C and 5 cm deep sowing conditions.

Fig. 5. Correlation between hypocotyl thickness and time required to emergence. Emergence was obtained at 25°C and 5 cm deep sowing conditions, and hypocotyl thickness was of the seedlings grown under stopper condition.

たが、荷重区ではエチレン発生量の増加程度と下胚軸の肥大程度がともに大きかったにもかかわらず、荷重区の下胚軸の太さは中・大粒品種には及ばなかった。これに対して、中・大粒品種は無荷重区でも芽ばえのエチレン発生量が多くて下胚軸が太かったが、芽ばえの伸長速度が遅く、出芽にかかる時間が長かった。

ところで、ダイズでは同一品種内において、覆土の土壤抵抗が小さい場合は小粒種子からの芽ばえほど下胚軸の伸長性がよく、出芽が速いが^{1,3)}、土壤抵抗が大きい場合は大粒種子からの芽ばえほど出芽率が高い⁸⁾と報告されている。土壤抵抗が大きい条件下で大粒種子からの芽ばえの出芽率が高いのは、芽ばえの抽出力が強いことによるものと考えられる⁵⁾。圃場条件下では出芽に影響を及ぼす環境要因としては土壤温度、土壤水分、覆土の厚さや硬さなどが挙げられるが、芽ばえが土壤環境に対応して出芽するためには、抽出力が強く出芽が速い特性を有していることが必要と考えられる⁴⁾。

本実験に用いた多くのダイズ品種では(第5図)、下胚軸が太い品種は出芽が遅い傾向が認められたが($r=0.681$, $P<0.001$)、荷重条件下で芽ばえからのエチレン発生量が比較的多く(93~133 nl)、下胚軸がかなり太いのに、出芽所要時間が短い品種が数品種認められた。これらのダイズ品種は、覆土条件に対応して出芽できる特性をもつ品種で、育種素材として有望ではないかと思われるので、今後さら

に検討を加えたい。

引用文献

1. Edwards, C. J., Jr. and E. E. Hartwig 1971. Effect of seed size upon rate of germination in soybean. *Agron. J.* 63: 429—430.
2. 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—885.
3. Hoy, D. J. and E. E. Gamble 1987. Field performance in soybean with seeds of differing size and density. *Crop Sci.* 27: 121—126.
4. 井之上準・伊藤健次 1969. 作物の出芽に関する研究—イネ科数種作物における幼芽の抽出力と出芽力および出芽能力の関係について—。日作紀 38: 38—42.
5. ———・陳 日斗 1981. 作物の出芽に関する研究—ダイズにおける粒重と芽ばえの抽出力—。日作紀 50: 344—350.
6. Inouye, J., S. Tanakamaru and K. Hibi 1979. Elongation force of seedlings of leguminous crops. *Crop Sci.* 19: 599—602.
7. Knittle, K. H. and J. S. Burris 1979. Effect of downward force on soybean hypocotyl growth. *Crop Sci.* 19: 47—51.
8. Longer, D. E., E. J. Lorenz and J. T. Cothren 1986. The influence of seed size on soybean [*Glycine max* (L.) Merrill] emergence under simulated soil crust conditions. *Field Crops Res.* 14: 371—375.
9. Samimy, C. and C. E. LaMotte 1976. Anomalous temperature dependence of seedlings development in some soybean (*Glycine max* (L.) Merr.) cultivars: role of ethylene. *Plant Physiol.* 58: 786—789.
10. ——— 1978. Effect of light on ethylene production and hypocotyl growth of soybean seedlings. *Plant Physiol.* 61: 772—774.
11. Seyedin, N., J. S. Burris, C. E. LaMotte and I. C. Anderson 1982. Temperature-dependent inhibition of hypocotyl elongation in some soybean cultivars: I. Localization of ethylene evolution and role of cotyledons. *Plant Cell Physiol.* 23: 427—431.
12. 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.
13. ———・——— 1990. 数種下胚軸伸長型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.
14. ———・——— 1991. 数種下胚軸伸長型マメ科作物芽ばえの荷重に対する反応。日作紀 60: 421—426.