アスパラガス若茎の生長に対する肥料及び光の影響

金 永植*・崎山亮三

東京大学農学部 113 東京都文京区弥生

Effects of Fertilizer and Light on the Growth of Asparagus Spears

Young Shik KIM and Ryoza SAKIYAMA

Faculty of Agriculture, University of Tokyo, Bunkyo-ku, Tokyo 113

Summary

The effects of fertilizer and light on the elongation of spears from 1-year-old asparagus and the non-destructive estimation of their fresh and dry weight were studied.

Crowns were dug from the field and planted in pots, which were placed in temperature-controlled chambers or rooms.

1. The elongation of spears was not influenced by application of nutrient solution at 20°C, but slightly increased at 30°C, regardless of light treatment.

2. The elongation of spears was not influenced by light.

3. The Gompertz equation ($\text{Length} = A \cdot \exp(-B \cdot \exp(-C \cdot t))$, $t = \text{time}$) was successfully applied to the elongation data. The estimated value of the parameter C at 30°C were higher than at 20°C. They were not influenced by the treatments of light or nutrient solution.

4. The fresh and dry weight of spears were plotted against (circumference at the base)² × length for white and green spears. The slope of the linear equation for fresh or dry weight was not affected by nutrient solution or temperature. Light conditions did not influence the slope of the equation for dry weight but did so remarkably for fresh weight, so that the slope was steeper in white spears than in green ones.

5. It was shown that the rate of dry weight increase of spears was not influenced by light conditions, but the rate of fresh weight increase of white spears was 1.37 times that of green ones. It was also shown that the rate of fresh or dry weight increase was mainly affected by temperature, as in the case of the elongation rate.

6. Compared with green spears, white spears had a higher content of water expressed on a dry weight basis, and showed a less gradual decrease in circumference of the stem from base toward tip.

緒 言

アスパラガス若茎の生長に関する研究はおもにグリーンアスパラガス（以下緑色の若茎という）について行われた(9). ホワイトアスパラガス（以下軟白若茎という）は土の中で生長するため測定しにくいことがその原因のひとつとして挙げられる。

緑色の若茎の伸長速度は温度に敏感であり、約 31°C までは温度が高いほど伸長が速く(3, 4), 伸長速度は時間に対し直線的に増加する(1, 7) ことが報告されている。著者ら(6) は水耕栽培など(11, 12), 盛土をしないで軟白若茎を生産する方法を念頭において、軟白若茎の生長

パターンを1年生根株を用いて研究した。その結果、若茎の伸長生長は2次指数的であり、相対生長速度(RGR)の対数($\ln RGR$)は時間に対し直線的であることを明らかにした。また、根株の大きさに関わらず、温度の効果が認められたことから、生長には貯蔵糖の絶対量は関係なく、分解速度や転流速度が重要であることが推測された(6)。しかし、伸長速度が炭水化物の分解や転流速度だけによるか、無機養分の供給も関与するかを調べることも必要である。

前報(6) では緑色の若茎と軟白若茎において基部周囲長の自乗と長さの積から新鮮重と乾物重を非破壊的に推定でき、9年生根株から生じた緑色の若茎と1年生根株から生じた軟白若茎では推定式の傾きが異なることを報告した。

1988年7月4日 受理

* Present address: Department of Horticulture, Korea University, Seoul, 136 Korea

本報では1年生アスパラガス根株の若茎において伸長、乾物重及び新鮮重の生長に及ぼす光と肥料の影響、またそれらの要因と温度の交互作用について調べた。また、新鮮重や乾物重の非破壊的推定式を検討し、各処理要因が新鮮重、乾物重に及ぼす影響を考察した。

材料及び方法

1985年4月21日に東京大学農学部のは場に播種し、育てた1年生アスパラガス（品種：Mary Washington 500 W）の根株を1986年1月16日に掘り上げ、実験に用いた。根株は水洗い後、石英砂を含む直径12cm、高さ16cmの1.5lポリ鉢に1株ずつ植えた。処理は肥料の有無と光の有無、20℃と30℃の温度条件を組み合わせた8区を設けた。

肥料の処理としては水を対照とし、Hoagland and Arnon No. 2 培養液を灌水した。光の有無の実験では自然光と暗黒の処理を設けた。それぞれの条件下で生長した若茎は緑色の若茎、軟白若茎と称することにする。自然光の場合は東京大学のバイオトロン自然光室で、暗黒の場合は室内の恒温器で行った。なお、自然光室の温度は太陽の強さによって変動が大きかったのでビニルでトンネルを作って温度調節を行った。トンネルの大きさは65×65×85cmで、電熱線で加温し、ファンで空気をかくはんした。根株の重さは40～80gの範囲であった。いずれの処理でも1ポット当たり1日おきに50mlの水あるいは培養液を処理温度と同じ温度にして与えた。

すべての根株から若茎と新しい根が発生した。若茎の伸長生長は4根株について分枝が起こる時期まで調べた。実験期間中30℃では若茎が2番目まで生長したので、その若茎を調査に用いた。若茎の長さは前報(6)と同じ方法で測定した。

暗黒処理の場合に、若茎の長さを調べる場合や灌水を行う場合には恒温器を開けたため暗黒条件は中断された。暗黒の実験を室内においた恒温器で行った理由は灌水や測定の時に強い自然光を当てないようにするためであった。軟白若茎の色は白色か、やや黄色であって、緑色は認められなかった。

また、各処理区から10～50cmの異なる長さの若茎を、5cm間隔の各階級ごとに4本以上ずつ採取し、それらの基部周囲長と長さ、新鮮重、乾物重を測定した。そして（基部周囲長）²×草丈（以下C²Lと表す）と若茎の新鮮重、乾物重との相関を調べた。若茎の長さは基部の節間が急に短くなる場所から測定した。

結果及び考察

伸長生長速度に対する処理の結果は便宜上、肥料と温度、光と温度に分けて述べる。

Fig. 1. Effect of nutrient solution on the length of white spears from 1-year-old asparagus at 20 and 30°C. Water: △, 20°C-1st spears; □, 30°C-1st spears; ○, 30°C-2nd spears. Nutrient solution: ▲, 20°C-1st spears; ■, 30°C-1st spears; ●, 30°C-2nd spears. Each point is the average of 4 spears. Vertical bars represent standard errors.

伸長生長速度における温度の影響に及ぼす肥料の効果

軟白若茎において伸長生長に対する肥料の影響は20℃では認められなかった。伸長生長の活発な30℃ではわずかながら現れ、発芽後5日目には処理間に高い有意性が認められた（第1図）。このことは、無機栄養の供給が30℃での生長速度を部分的に制限することを示す。伸長速度は水の取り込み速度と密接に関係するが、それを維持するためにはそれに見合った糖や無機養分の取り込みが必要である。30℃という生長速度の大きい条件下では、代謝に必要な無機物の供給速度が重要な意味を持つ可能性は十分考えられる。WagenvoortとAmmerlaan(12)はアスパラガスの水耕栽培で若茎の直径が細いことを報告しているが、その栽培では培養液が与えられていなかったため、そのことがその原因のひとつとなったかも知れない。緑色の若茎においても軟白若茎と同様に肥料の影響は20℃では認められず、30℃では現れ、発芽後5日目には処理間に高い有意性が認められた（結果は示していない）。また、軟白若茎と緑色の若茎のどちらの場合にも1番目の若茎よりは2番目の若茎の方がわずかながら速く生長する傾向が認められたが、肥料の影響は同じであった。

伸長生長速度における温度の影響に及ぼす光の効果

30℃では光の効果は認められず、20℃では光条件の緑色の若茎で生長がよい傾向が示されたが、有意な差ではなかった（第2図）。20℃で認められた光条件下での生長促進傾向は自然光の放射熱のため、日中の温度が完全に制御されず、やや高めになったため生じたものかも知

Fig. 2. Effect of light on the length of spears from 1-year-old asparagus at 20 and 30°C, without nutrient solution. Dark condition: $\triangle$, 20°C-1st spears; $\square$, 30°C-1st spears; $\circ$, 30°C-2nd spears. Light condition: $\blacktriangle$, 20°C-1st spears; $\blacksquare$, 30°C-1st spears; $\bullet$, 30°C-2nd spears. Each point is the average of 4 spears. Vertical bars represent standard errors.

れない。光の影響が認められなかったことは、若茎の生長に光合成はまだ関係なく、必要な炭水化物は貯蔵根から供給されることを示している。キクイモでは貯蔵糖の分解に地上部の有無は関係ないことが報告されているが(5)、アスパラガスの場合はそれとは異なっている可能性がある。

光と肥料が生長曲線の温度反応に及ぼす影響

前報(6)における結果と同様に、本実験でも伸長速度は温度が高いほど大きかった。絶対伸長速度は時間に対し曲線的に増加し、RGRは曲線的に減少し、 $1nRGR$ は直線的に減少した(結果は示していない)。生長曲線をGompertz曲線(長さ $=A \cdot \exp(-B \cdot \exp(-C \cdot t))$ 、 t は時間)に当てはめることにより得られる係数 C は伸長速度の係数であるが、前報ではこの係数が温度と直線的関係を示した。本報でも係数 C は20°Cより30°Cで大きかったが、肥料と光の影響は認められなかった(第1表)。

乾物重及び新鮮重の非破壊的推定式に及ぼす光の影響

温度、肥料及び光の実験で用いた10cm以上の全ての若茎に対し、新鮮重と C^2L 及び乾物重と C^2L の関係を調べた。温度と肥料は推定式に影響を及ぼさなかった(結果は示していない)、それらの試料は区別せず、光の有無についてのみ2分し推定式の評価を行った。

軟白若茎において、乾物重と C^2L の間には直線関係があって、当てはめた直線の傾きは $0.00594 \text{ (g/cm}^3\text{)}$ であった(第3-a図)。この結果は前報(6)で得られた

Table 1. Effect of light, nutrient solution, and temperature on the parameter C of Gompertz equation ($\text{Length} = A \cdot \exp(-B \cdot \exp(-C \cdot t))$) for spears from 1-year-old asparagus.

Temperature ² (°C)	Dark		Light	
	Water	Nutrient	Water	Nutrient
20	0.202	0.196	0.165	0.173
30	0.294	0.353	0.295	0.285
Significance	Light ns ³	Nutrient ns	Temperature **	

² No. of spears for each crown are 1 at 20°C and 2 at 30°C. 4 crowns were used for each treatment.

³ Significant at the 1% level (**) and not significant (ns).

値 0.00500 とほぼ等しく、この推定式はかなり安定したものであることが確認された。緑色の若茎における推定式の傾きは 0.00572 で、軟白若茎とほとんど差がなかった(第4-a図)。一方、新鮮重と C^2L との関係の場合は、軟白若茎で推定式の傾きが $0.0618 \text{ (g/cm}^3\text{)}$ であったのに対し(第3-b図)、緑色の若茎では 0.0449 と低い値を示した(第4-b図)。

若茎の基部の径が休眠芽の径の大きさに依存し、若茎の基部周囲長は発芽後の条件の影響を受けないと仮定すると(9)、新鮮重や乾物重が C^2L に対し示した比例関係は新鮮重や乾物重の生長速度が長さ(L)の生長速度に比例することを意味する。ここで、この関係を用いて環境条件が新鮮重や乾物重に及ぼす影響について推論してみる。まず、光の有無に関わらず若茎の伸長速度が同じで、乾物重の推定式の傾きに差がないという事実は、若茎の乾物生長速度が光の有無に関わらず同じであることを表す。さらに、興味あるのは、新鮮重の推定式の傾きに差があることから示されるように、暗黒下では若茎の新鮮重生長速度が光条件下の値の 1.37 倍であるということである。一方、伸長生長は温度の影響を受けるので、新鮮重や乾物重の生長は温度に強く依存した変化を示すことになる。なお、乾物重や新鮮重の推定式の傾きは温度によって変化しなかったのも、若茎が炭水化物と水を取り込む速度の割合が温度によって変化することはないことが推定される。また、前報で9年生根株から生じた緑色の若茎を用いた場合には乾物重の推定式の傾きが $0.00276 \text{ (g/cm}^3\text{)}$ で、1年生根株から生じた軟白若茎に比較してかなり低い値であったが、これは光の影響ではなく、齢の影響によるものであることが確かめられた。

光の有無によって新鮮重の推定式の傾きに差が認められたことから、若茎の長さに沿った新鮮重のパターンに

Fig. 3. Relationships between dry weight (a) or fresh weight (b) and (basal circumference)²×length (C²L) for white spears above 10 cm in length from 1-year-old asparagus.

Fig. 4. Relationships between dry weight (a) or fresh weight (b) and (basal circumference)²×length (C²L) for green spears above 10 cm in length from 1-year-old asparagus.

差があることが推測された。そこで、若茎を10等分し、全新鮮重のうち各部分の新鮮重が占める割合を調べた(第2表)。軟白若茎においては先端部を除いてほぼ同じ値を示した反面、緑色の若茎では先端に近づくほど小さくなった。

この新鮮重のパターンの違いは体積のパターンの違いを予測させた。そこで、この若茎の形状の違いを円柱からの変形の程度で表すことを試みた。体積をV、基部半径をr、長さをLとし、円柱との類似性を示す係数をαとすると、

$$V = \alpha \pi r^2 L \quad (1)$$

ただし、α=1の時、若茎は円柱である。新鮮重をW、比重をρとすると、

$$V = W/\rho \quad (2)$$

(1)に(2)を代入して、整理すると、

$$W = \alpha \rho \pi r^2 L \quad (3)$$

基部の周囲長Cは2πrであるので、これを(3)に代入して整理すると、

$$W = \alpha \rho \times 1/(4\pi) \times C^2 L \quad (4)$$

本実験で求めたC²Lに対する新鮮重の回帰式はほぼ比例関係を示し、定数項を無視することができる。従って、αρ×1/(4π)は新鮮重の推定式の傾きに相当する。ρは

若茎によって変異はあるが、軟白若茎と緑色の若茎で同じで約0.96であるので、傾きは0.96α/(4π)で示される。本実験の結果によれば、推定式の傾きは軟白若茎で0.0618、緑色の若茎で0.0449なので、この値を0.96α/(4π)に代入すると、αは各々0.808、0.588となり、軟白若茎が緑色の若茎に比較して円柱に近い形、おそらくは若茎の基部から先端にかけての径の減少が緩やかな形であることを示した。

若茎の長さに沿った乾物重のパターンに及ぼす光の影響を調べるため、若茎を10等分し、全乾物重のうち各部分の乾物重が占める割合を調べた(第2表)。その結果光の有無に関わらず、基部に近づくほど割合が大きくなるが、緑色の若茎でその傾向が著しく、新鮮重の場合と比べてもっと極端な変化を示した。新鮮重と乾物重の差は水の量なので、このことから水分含量のパターンの違いが予想された。

長さが40~46cmである若茎の水分/乾物比を部位別に調べた結果(第3表)、水分/乾物比は部位に関係なく緑色の若茎に比べて軟白若茎が大きく、また両若茎とも先端から12~16cmのところで最大値を示した。水分/乾物比と組織の生長速度に比例関係があること(8,10)から、12~16cmのところで伸長生長が一番活発に行わ

Table 2. Values of fresh and dry weight of the segments along the spear from 1-year-old asparagus, expressed as percentage of the total spear weight.

Spear ^z	Order of the segments numbered from the tip									
	1 ^y	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Fresh weight										
White	8.09c ^x	9.60 b	9.97ab	10.21ab	10.53 a	10.49 a	10.43 a	10.20ab	10.23ab	10.25ab
Green	6.27 g	6.29 g	7.72 f	8.79 e	9.68 d	10.39 d	11.31 c	12.01 c	13.05 b	14.50 a
Dry weight										
White	10.57 c	8.47fg	7.62 g	7.87fg	8.76ef	9.42de	10.19cd	10.93 c	12.23 b	13.94 a
Green	7.69fg	5.27 i	5.83hi	6.91gh	8.10 f	9.40 e	11.01 d	12.55 c	15.05 b	18.19 a

^z Length of spears ranged from 43 to 46 cm.^y Each segment is 4 cm.^x Means designated with the same letter within rows are not significantly different at 5% level by Tukey-Kramer's multiple range test.**Table 3.** Valus of water weight: dry weight ratios of the segments along the spear from 1-year-old asparagus.

Spear ^z	Order of the segments numbered from the tip									
	1 ^y	2	3	4	5	6	7	8	9	10
White	7.58e ^x	11.75abc	13.76 a	13.63 a	12.55ab	11.55abc	10.54bcd	9.53cde	8.45de	7.32 e
Green	5.38de	8.34ab	9.41 a	9.02 a	8.39ab	7.68abc	7.05bcd	6.49cde	5.78de	5.25 e

^z Length of spears ranged from 40 to 46 cm.^y Each segment is 4 cm.^x Means designated with the same letter within rows are not significantly different at 5% level by Tukey-Kramer's multiple range test.

れていることが推測できる。また、水分/乾物比は最大になる部位よりさらに基部へ近づくほど水分含量が減少したが、その傾向は軟白若茎で小さかった。緑色の若茎に比べ、軟白若茎では相対的に水分/乾物比が高く、伸長速度が最大になる部位から離れても低下が小さいことから、伸長している部位が広く、組織の生長速度の低下が遅く、さらに組織が柔らかであることが推測される。盛土した場合の軟白若茎は緑色の若茎より硬いこと(2)が言われているが、それは光の影響ではなく、土圧により生長が妨げられた結果、齢が進み、生じたものかも知れない。

水分/乾物比は水分の吸収速度と蒸散速度の影響を受けるので、湿度の影響を受ける可能性がある。本実験では湿度の制御は行わなかったため、水分含量の差が光だけの影響で生じたとはいえない。しかし、実際栽培に關していえば暗黒下では湿度は高くなりがちであると考えられるので、光の有無はそれぞれ湿度の低高に關するといえよう。湿度の効果については今後の課題である。

摘 要

1年生アスパラガス若茎の生長に及ぼす肥料及び光の影響を調べた。

1. 培養液の施用は、光の有無に關係なく、20℃で

は影響がなく、30℃では生長をやや促進する効果があった。

2. 若茎の伸長生長に光の影響は認められなかった。

3. 軟白若茎と緑色の若茎において、若茎の(基部周囲長)²×長さから新鮮重及び乾物重の推定式を求めた。乾物重の場合には推定式の傾きが軟白若茎と緑色の若茎ではほぼ同じ値を示した。新鮮重の場合には軟白若茎の方が傾きの値が大きかった。

4. 若茎の乾物生長速度は光の影響を受けなかった。新鮮重生長速度は緑色の若茎に比べ、軟白若茎の方が大きく、その差は1.37倍と推定された。新鮮重や乾物重の生長速度は温度に比例した。

5. 緑色の若茎に比べ、軟白若茎の方が水分含量が多く、基部から先端部にかけての周囲長の減少が少ない形状を示した。

引用文献

1. BLUMENFIELD, D., K. W. MEINKEN and S. B. LECOMPTE, JR. 1961. A field study of asparagus growth. Proc. Amer. Soc. Hort. Sci. 77: 386-392.
2. CHANG, D.C.N. 1983. Fine structural changes of asparagus spear during storage. Acta Hort. 138: 305-312.

3. CULPEPPER, C. W. and H. H. MOON. 1939. Effect of temperature upon the rate of elongation of the stems of asparagus grown under field conditions. *Plant Physiol.* 14: 255-270.
4. CULPEPPER, C. W. and H. H. MOON. 1939. Changes in the composition and rate of growth along the developing stem of asparagus. *Plant Physiol.* 14: 677-698.
5. JEFFORD, T. G. and J. EDELMAN. 1963. Metabolism of fructose polymers in plants. 2. Effect of temperature on the carbohydrate changes and morphology of stored tubers of *Helianthus tuberosus*. *J. Exp. Bot.* 14: 56-62.
6. 金 永植・崎山亮三・田附明夫. 1989. アスパラガス若茎の伸長生長に及ぼす気温の影響と若茎重の推定. *園学雑.* 58: 155-160.
7. LAMPERT, E. P., D. T. JOHNSON, A. W. TAI, G. KILPATRICK, R. A. ANTOSIAK, P. H. CROWLEY, and E. D. GOODMAN. 1980. A computer simulation to maximize asparagus yield. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 105: 37-42.
8. MACDUFF, J. H., M. J. HOPPER and A. WILD. 1987. The effect of root temperature on growth and uptake of ammonium and nitrate by *Brassica napus* L. in flowing solution culture. *J. Exp. Bot.* 38: 42-52.
9. ROBB, A. R. 1984. Physiology of asparagus (*Asparagus officinalis*) as related to the production of the crop. *New Zealand J. Exp. Agric.* 12: 251-260.
10. SCHNYDER, H. and C. J. NELSON. 1987. Growth rates and carbohydrate fluxes within the elongation zone of tall fescue leaf blades. *Plant Physiol.* 85: 548-553.
11. WAGENVOORT, W. A. 1979. Hydroculture for forcing *Asparagus officinalis* L. *Gartenbauwissenschaft* 44: 277-280.
12. WAGENVOORT, W. A. and A. W. S. AMMERLAAN. 1988. Methods for analysing the fibrousness of forced asparagus spears in hydroculture and in the field. *Gartenbauwissenschaft* 53: 38-41.