水耕栽培したシュンギクの重量生長計測

玉 木 浩 二*

東京大学農学部農業工学科*

種子の状態から 12 日間、同一条件の下で栽培したシュンギク苗を、温度・光・養分条件を各種組み合わせた条件下で、既報において開発した重量生長計測システムを用い、栽培計測実験を行い以下の結果を得た。

1) 収量の最大値は温度: 25°C, 養分: 15 g/10 l, 光照度 16 klux の一定条件 18 日間栽培した場合に得られ、一個体平均重量は 13.6 g であった。この値を単純に 10 a についての収量に換算すると 8,510 kg となるが、平均的な施設栽培の約 3.5 倍の収量である。

2) シュンギクの重量生長データに、指数生長式 (1) 式をあてはめると、栽培したシュンギク 25 個体重量の和が 50 g を超えない範囲の生長については、回帰曲線からの標準偏差の平均値は 2.29 g, すなわち重量 50 g に対する比は 4.6% となり、あてはめは良好であると思われる。

3) 同一の実験データに Robertson の生長式 (3) 式をあてはめると、対数生長期の生長が実際のデータより大きくなり、また計測した生長データはいずれの場合にも生長の上限値が見られず、(3) 式をあてはめるには無理があると思われる。

4) 栽培計測実験の途中で光強度を弱くすると生長率は小さくなるが、実験開始当初から光を弱く一定の条件で栽培した場合よりさらに小さくなる。

5) 一日一定の光照射時間で栽培したとき得られる収量は、大略 24 時間連続照射のとき得られる収量に照射時間の比の二乗を乗じた値と考えられる。

1986 年 7 月 11 日受付

緒 言

作物生産では、対象としている作物が環境条件と関連して、どのように生長するかということは基本的な問題であり、イネ、ムギなどの生長については古くから数多くの研究報告が出されているが、野菜に関しては少ないように思われる。トマト、キュウリのような果菜類、サツマイモ、ダイコンのような根菜類では、種々の環境条件下で栽培した結果を、従来イネ、ムギなどの研究で用いられている生長解析などの手法を使用して、環境要因と生長との関係を調べた研究報告¹⁻⁹⁾が若干あるが、葉菜類については、レタス、サラダナ、ネギなどに関して研究報告⁹⁻¹¹⁾がある程度であると思われる。

野菜は水分を含んだ状態で利用されるものであり、水分含有率が野菜に含まれるビタミン、ミネラル、あるいは鮮度のような性質と密接に関連があるから、生長解析において扱う乾物重生長のみならず、生体重生長としての取扱いもまた重要であると思われる。

生体重生長を取り扱ううえで、生体内の水分が条件によって変化しうること、また養液栽培においては、重量計測時に根に付着した水分をどのように評価するかが問題になる。前者については、本研究で取り扱ったシュンギクのような軟弱野菜では生体内水分が 5% 程度失われてもしおれを生ずるから¹²⁾、最悪値でもこの範囲で測定が可能である。また後者については、既報¹³⁾において述べたように数%の誤差内で測定しうる。以上の測定精度は、同一個体あるいは個体群について、測定条件を常に同一にすること、収穫時収量を正確に秤量し補正するなどの方法により、さらに改善しうる可能性があると思われる。

近年サラダナなどの葉菜類について、実用規模の工場的な生産が行われるようになってきているが、これらの

Koji TAMAKI*: Measurement of Weight Growth of *Chrysanthemum coronarium* Cultivated in Hydroponic Culture.

* Faculty of Agriculture, University of Tokyo, Yayoi, Bunkyo-ku, Tokyo 113, Japan.

生産方式が成立するには、基本的には投入資財および作物に与える環境条件設定に必要な費用とその結果得られる収量の比で定まる効率を高めることが必要である。したがって、生産設備の中で作物に与える環境条件と生長との関連を知ることは基本的な問題である。実験には葉菜類として、低温性、低日照性でかつ生育期間が短いという性質を有しており¹⁴⁾、工場的栽培に利点を有すると考えられるシュンギクをとりあげた。

本研究は、上記のような観点から養液栽培したシュンギクの生長に関する基礎的な実験を行って、既報で開発した重量生長計測システム¹⁵⁾の有効性を確認するために行ったものである。

実験装置および実験方法

本研究の実験は、既報¹⁵⁾で述べたように水耕栽培した植物の重量生長を、載荷板上で試料植物の茎を支持し、載荷板を保持している重量センサの出力により、連続非破壊で計測するシステムを用いて行った。

1. 実験に使用したシュンギクの苗

試料植物として、中葉シュンギク (*Chrysanthemum coronarium*, 株張り系) を用いた。載荷板に茎を支持し、実験に使用する試料苗を以下の方法により準備した。

イ) 活性炭処理した水道水を 500 cc のピーカに満たし、シュンギクの種子を水面上に一樣に沈まないように保った。

ロ) 種子を入れたピーカを温度 20°C、湿度 40% に保った恒温室中で植物栽培用ランプ下で 5 日間栽培する。

ハ) 直径 10 cm の円形で、厚さ 3 mm の発泡スチロール板を用意し、間隔 10 mm で直径 3 mm 程度の穴を多数あける。次に、前項の処理で二葉出葉し、根の長さが 2 cm 程度になった苗を上記のスチロール円板の穴に植えつけた。

ニ) 試料苗を植え付けたスチロール板を、活性炭処理した水道水を満たしたピーカの上にのせ、同一恒温室でさらに 7 日間栽培した。

上記 12 日間の処理により、シュンギクの根の長さは 5 cm 程度となる。なるべく大きさのそろった個体を 25 個体選出し、載荷板上 4 cm × 4 cm の格子状間隔であけた穴に発泡スチロールで茎部を支持し植え付け、以下の実験に使用した。実験で使用したシュンギク種子の 100 粒あたりの平均重量は約 0.3 g、12 日間栽培した試料苗 25 個体の平均重量は約 1 g であった。

2. 実験方法

前項で用意した試料苗を植え付けた載荷板を、温度、光条件を制御しうるチャンバ内に設置した栽培水槽上に

設置し、各種の条件を与え実験を行った。

水耕栽培液は、蒸留水に実験条件となるように定めた規定量の園芸用肥料を溶かし、栽培水槽中に 50 l、循環水戻しタンクに 50 l、合計 100 l 用いた。栽培液のモニタは行わなかったが、1 日おきに 10 l 新しい栽培液と交換し補充を行った。栽培液は 2 時間ごとに 15 分間、栽培水槽と循環戻しタンクの間を循環させエアレーションと栽培液の温度の均一化を図った。栽培液の温度は制御しなかったが、適宜温度計により測定した結果では、実験条件として設定したチャンバ内温度より 3~5°C 低い値を示した。栽培液は一回の実験が終了するとすべて破棄し、新しい栽培液に交換した。栽培液肥料として微粉状の園芸用肥料を使用した。

光源ランプの発する熱を吸収するための水フィルタ水槽には蒸留水を入れ、栽培液同様 2 時間ごとに 15 分間戻しタンクとの間を循環させ、蒸発による水の補給と水温の低下を図った。また光源ランプの冷却と水フィルタ中にホコリが混入することを防止するために、実験中常時小型ファンを駆動した。光源ランプは 400 w のメタルハライドランプ (陽光ランプ) 2 個と 300 w のカラー撮影用ハロゲンランプ 4 個を使用した。照度の調整はランプの個数とハロゲンランプの電圧を調整することにより行った。

チャンバ内に取り入れる新鮮外気は、温度制御に伴ってオン・オフされる温度制御用クーラのファンにより取り入れ、炭酸ガス施肥は行わなかった。

シュンギクの苗を移植した載荷板を重量センサの上に設置し、載荷板上で実験条件として与える照度となるようにランプを調節した。チャンバ内の温度、栽培液濃度を実験条件に設定し、システムが定常状態に達した後実験を開始した。標準的な実験として、重量計測は 6 時間ごとに 1 日 4 回 18 日間、合計 72 回行った。したがって、種子の状態からは 30 日間の栽培期間である。実験終了後、ただちに載荷板から収穫し、電子天秤を用いて重量測定を行った。

実験結果および考察

実験条件は以下に示すように、温度、栽培面上照度、栽培液濃度の 3 条件を組み合わせた。

温度	15, 20, 25, 30°C
栽培液濃度	2, 5, 10, 15 g/10 l
栽培面照度	4, 8, 12, 16 klux

なお、栽培液の濃度は蒸留水 10 l に対して、溶かした園芸用肥料の重量値をもって表す。

Table 1

No.	T_p	F_t (g/10 l)	L_t (klux)	C_h (hr)	Y (g)	Y_t (g)	Y_s (g)	H_m (cm)	W_d (g)	A	S_d	X
1	20	10	16	552	480.64	416.14	64.50	28.0	57.27	0.0931	5.24	45
2	20	10	4	882	336.48	295.69	40.79	26.7	44.99	0.0559	1.69	70
3	20	5	4	624	205.95	190.70	15.25	21.2	11.97	0.0692	4.24	58
4	20	0.5	4	360	4.66	—	—	—	0.52	—	—	—
5	20	2	4	432	49.94	40.17	9.77	9.8	2.85	0.0572	1.87	70
6	25	2	4	432	43.58	39.12	4.46	11.5	2.39	0.0602	2.01	55
7	20	5	8	432	119.77	98.37	21.39	16.3	6.97	0.0817	1.58	45
8	20	5	12	840	144.16	132.28	11.87	—	7.25	0.0383	2.71	108
9	15	2	16	432	35.41	25.93	9.48	6.8	2.57	0.0519	1.68	70
10	15	5	16	432	42.68	32.62	10.06	8.8	5.36	0.0543	2.93	70
11	15	10	16	432	83.01	61.15	21.85	13.1	7.57	0.0650	0.75	60
12	20	5	16	432	107.54	82.18	25.36	15.5	8.78	0.0708	1.67	55
13	20	15	16	432	185.45	145.19	40.25	24.0	8.78	0.0850	2.11	45
14	25	10	16	432	329.96	262.05	67.51	33.0	22.50	0.127	2.73	30
15	25	15	16	432	340.40	279.40	61.00	33.6	26.62	0.137	4.64	30
16	25	20	16	432	263.46	212.73	50.73	29.8	21.94	0.108	2.40	38
17	30	15	16	432	205.59	165.21	40.37	21.0	16.81	0.102	1.43	38
18	25	5	4	432	31.30	28.46	2.84	12.6	1.73	0.0500	0.677	70
19	25	5	8	432	90.83	80.02	10.81	21.0	5.15	0.0711	3.13	58
20	25	10	12	432	331.14	296.79	34.34	32.1	20.94	0.122	3.78	33
21	25	10	8	432	165.49	147.87	17.62	23.7	12.13	0.0891	3.34	45
22	25	15	8	432	127.44	112.86	14.58	23.2	7.69	0.0764	1.67	55
23	20	10	7	432	69.94	59.94	10.00	19.2	4.51	0.0612	1.12	65
24	20	2	7	432	74.70	60.30	14.40	18.1	4.54	0.0712	1.82	58
25	20	10	16	432	92.88	81.85	11.03	21.3	3.22	0.0931	1.58	40
26	20	10	8	432	53.56	47.25	6.31	18.5	3.07	0.0816	2.03	40
27	30	10	16	432	208.13	155.13	52.13	21.8	17.84	0.107	1.06	35
28	30	5	16	432	255.87	202.71	53.15	23.9	16.89	0.105	1.05	35
29	20	10	12	432	131.26	106.06	25.19	23.4	9.56	0.0855	2.10	45
30	25	15	12	432	195.81	162.01	33.79	24.6	9.56	0.0991	2.67	40
31	25	5	12	432	277.92	224.79	53.13	26.6	23.44	0.119	2.28	36
32	25	5	16	432	252.34	200.31	52.03	23.5	19.89	0.113	2.08	34
Mean value					(0.83)	(0.17)				(0.074)	(2.29)	

Experimental results obtained by cultivating *Chrysanthemum coronarium* in hydroponic culture under various conditions. After 12 day's growth of seed in constant environment, test seedlings were transplanted in growth chamber and cultivated for 18 days under various combination of temperature, light and nutrient conditions. Light conditions were realized by two 400 W metal halid lamps and four 300 W herogen lamps in use of taking photograph. Illuminance was controlled by numbers of lamps or regulating supply voltage to herogen lamps. Nutrient conditions of hydroponic water were supplied by changing weights of fine grained fertilizer (Hyponex) dissolved in every 10 liters of distilled water.

T_p : temperature ($^{\circ}\text{C}$), F_t : nutrient condition (g/10 liter),
 L_t : illuminance (klux), Y : fresh yield (g),
 Y_t : terestrial part of fresh yield (g),
 C_h : cultivating hours,
 Y_s : subterranean part of fresh yield (g),
 H_m : mean height (cm), W_d : dry weight of yield (g),
 A : parameter of exponential growth curve,
 S_d : standard deviation,
 X : times of measurement that weight of growth was over 50 g.

1. 収量の比較

恒温室内で別途 12 日間栽培した苗を載荷板上に移植し、所定の条件でチャンバ内で 18 日間栽培計測実験を行った。実験終了後、試料シュンギクを収穫し、重量測定を行った結果を Table 1 に示した。同表からもわかるように、栽培期間はすべての実験について同一ではなく、チャンバ内での栽培期間が 18 日より長い実験がある。これらの実験については連続生長計測したデータから、実験開始後 18 日目の結果を読みとり、同一栽培期間にしたうえで栽培条件と収量の関係を表した結果が Fig. 1 である。Table 1 および Fig. 1 から、得られた収量の最大値は、温度 25°C、栽培液濃度 15 g/l、照度 16 klux の場合に生じ、340.4 g であった。このときシュンギク 1 個体の平均重量は 13.6 g で、種子 1 個の平均重量は約 3 mg であるから約 4,500 倍に生長することになる。また、載荷板上に試料植物は 4 cm×4 cm の格子状に植え付けてあるから、この収量値を単純に 1,000 m² 当りの収量値（反当収量値）に換算すると 8,510 kg となる。ビニールハウス栽培したシュンギクの播種後 30 日における平均反収を 2,447 kg⁽⁴⁾と考えると、約 3.5 倍の収量が

Fig. 1 Influence of environmental condition to growth of *Chrysanthemum coronarium*. This graph illustrates only fresh yield data obtained in the tests shown in Table 1 in order to investigate simply influence of environmental condition to growth.

得られたことになる。Fig. 1 から 16 klux を超える光条件で実験は行っていないが、温度 25°C、栽培液濃度 10 g/10 l、照度 12 klux 付近で収量が頭打ちとなる傾向が見える。また全部の実験の結果から、収量に対する地上部重量の割合、および乾燥重量の割合の平均値はそれぞれ 0.83, 0.074 であった。

2. 生長率

一般に生物の器官、個体などの初期生長は指数関数生長することが知られており、シュンギクの重量を Y 、時間を X で表すと次式の関係が成立する。

$$dY/dX = AY \quad (1)$$

$X=0$ のとき $Y=1$ であると、(1) 式の解は次式となる。

$$Y = \exp(AX) \quad (2)$$

ただし、 Y はシュンギク 25 個体の合計重量、 X は 6 時間ごとに行った測定回数を表す。

25 個体の試料シュンギクの重量生長を 6 時間間隔で連続非破壊的に計測したデータに、回帰曲線として (1) 式の指数生長式をあてはめたとき、どの程度の生長段階

Fig. 2 Growth data of *Chrysanthemum coronarium* and regression curve.

- Curve 1:
regression growth curve of exponential type analyzed about all measured data.
- Curve 2:
regression growth curve of exponential type analyzed about data under 50 grams.
- Curve 3:
regression growth curve of Robertson's type analyzed about all measured data.
- Curve 4:
regression growth curve of Robertson's type analyzed about data under 100 grams.

まで説明しうるか検討を行った。Fig. 2 はその一例で温度 20 °C, 栽培液濃度 10 g/10 l, 照度 4 klux の条件で 882 時間栽培を行った実験について検討した結果である。Fig. 2 には測定データ, および回帰指数曲線 1, 2 を示した。回帰指数曲線 1, 2 はそれぞれ回帰計算に使用するデータの値が 300 g, 50 g を超えない範囲のデータを使用して計算した場合を表している。このとき回帰指数曲線と原データとの標準偏差は, それぞれ 28.6 g, 1.69 g となる。なお図中×印は実験終了後の, 電子天秤によるシュンギク 25 個の重量測定値を表している。

Fig. 1 に示したすべての実験において, シュンギク 25 個体の重量値 Y が 50 g に満たない範囲のデータについて, (2) 式の指数曲線で回帰分析を行い, 回帰パラメータ A , 標準偏差 S_a , Y が 50 g に達する時間 X を求めた結果を Fig. 1 に付け加えた。ただし, X は 6 時間ごとに行った重量計測回数を表し, チャンバによる実験開始時よりの時間は $6X$ (hr) である。

Table 1 から指数パラメータ A の範囲は約 0.05~0.14, 標準偏差の平均は 2.29 g となる。シュンギク 25 個体の重量, すなわち 50 g に対する標準偏差の割合は約 4.6% となり, あてはめの度合は良好であると考えられる。

次に生長曲線として次式を考える。

$$dY/dX = A(K - Y)Y \quad (3)$$

ただし, A, K は定数, Y は試料シュンギク 25 個体の重量, X は時間を表す。(3) 式は Robertson の生長式である。

(3) 式で $X=0$ のとき $Y=1$ として解を求めると, 次式を得る。

$$Y = \frac{K}{1 + (K-1) \exp(-AKX)} \quad (4)$$

(4) 式を回帰曲線として, 同一の実験データについて回帰分析を行った結果の一例を Fig. 2, 曲線 3, 曲線 4 に示した。回帰曲線 3 は回帰曲線からの標準偏差が, 得られた実験データのすべての範囲で最小となるように求めたものである。また, 回帰曲線 4 はシュンギク 25 個体の重量が 100 g 以内にあるデータに, もっともよく適合するように求めた結果である。Fig. 2 から, 理論生長式 (3) 式を用いると対数生長期の生長率が実際より大きくなるのがわかる。このことは, (3) 式で個体群重量の上限値 K により生長が制限される項 $(K - Y)$ 以外に, 個体群を構成する個体自身の上限値により制限を受ける項のような生長抑制因子を有していると考えられることもできよう¹⁶⁾。

(3) 式を回帰曲線として回帰分析を行うためには, K, A という二つのパラメータを定めなければならないが,

Fig. 2 に示した生長データからは, 個体群重量の上限値 K に収束する様子が見られず, (3) 式のような生長曲線を回帰曲線とするには無理があると思われる。上述の傾向はすべての実験結果にあてはまる。Table 1 で一個体平均重量が 19.2 g の最大となった実験 No. 1 においても上限値 K に収束する傾向は見られず, シュンギクが倒伏したため実験を中止せざるを得なかった。本実験のように, 自然と異なる環境では, 生長の上限は自然状態よりもきわめて高い値であって, その制約が現れるよりも前に, 大きくなり過ぎた個体を支持しえなくなり倒れるなど他の原因で生長が止まってしまうと考えることも可能であろう。

3. 栽培途中における光条件の変化と生長

前項までの実験では, ある一つの実験では温度, 光, 栽培液濃度を一定として生長計測を行った。栽培条件を生育途中で変化させたときの生長を調べるため, 実験を行った。変化させる条件として, 生長に最も顕著な影響を有する光条件をとりあげた。Fig. 3 は, 温度を 20 °C,

Fig. 3 Influence to growth of *Chrysanthemum coronarium* by changing light condition on the process of tests.

Growth curve 1:

measured by changing light illuminance 16 klux to 4 klux on time of 258 hours after the test started.

Growth curve 2:

overlapped by using growth data after the weights were over 52.6 grams, measured under constant illuminance of 4 klux through all the process.

Growth curve 3:

overlapped by using growth data after the weights were over 52.6 grams, measured under constant illuminance of 16 klux through all the process.

Table 2

Lighting hours/day (total hours x)	Fresh yield y (y/y)	Subterranean part y_s (y_s/y)	Terrestrial part y_t (y_t/y)	Dry weight y_a (y_a/y)
6 (108)	12.50 (0.038)	10.99 (0.88)	1.51 (0.12)	0.596 (0.05)
12 (216)	79.30 (0.24)	68.82 (0.87)	10.45 (0.13)	4.134 (0.05)
18 (324)	108.14 (0.33)	92.49 (0.86)	15.64 (0.14)	6.535 (0.06)
24 (432)	331.14 (1.0)	296.79 (0.90)	34.34 (0.10)	20.943 (0.06)

Relation between weight growth of *Chrysanthemum coronarium* and lighting hours per day. Tests were done in the same way as the tests in Table 1, except lighting hours per day. The other environmental conditions were constant as follow. Light illuminance: 12 klux, Temperature: 25°C, Nutrient condition: 10 g weight fertilizer (Hyponex) per 10 liters of distilled water. Measured data in the Table 2 were obtained from total fresh weights of 25 plants, and Y means total fresh yield gained in lighting 24 hours continuously per day.

栽培液濃度は 10 g/10 l とし、光条件のみ変化させた結果の一例である。図中生長データ 1 は栽培実験開始後 258 時間で、光条件を 16 klux から 4 klux に変化させたときの生長を表している。また、生長データ 2, 3 は Table 1 における実験 2 および実験 1 に対応しており、それぞれ光条件を栽培実験を通じて一定の 4 klux, 16 klux とした実験結果から、生長データ 1 の実験で光条件を変化させたときの重量、約 52.6 g となる時間以後のデータをかき合わせ書き入れている。Fig. 3 から、光強度を弱くすると生長率は小さくなること、栽培途中で光強度を弱くすると、始めから弱い条件で栽培した場合に比し生長率が小さくなることが示されている。

4. 光照射時間と生長

次に、光の強さは変化させずに照射時間を変えたときの生長への影響を調べるための実験を行った。

実験条件として照度を 12 klux, 栽培液濃度を 10 g/10 l, 温度を 25°C とし、光の照射時間を一日について 6 時間, 12 時間, 18 時間, 24 時間の 4 通り設定した。他の実験条件は同一として 18 日間栽培実験を行った。得られた実験結果を Table 2 に示した。同表において、地上部重量, 地下部重量, 乾燥重量の数値の下の () 内の数値は、収量値に対するそれぞれの重量の比を表している。

一日 j 時間ずつ収穫までに加えた光の照射合計時間と得られた収量を、それぞれ X_j, Y_j とする。 $j=6, 12, 18$ について、 $j=24$ の場合の全照射時間と収量の値 X, Y と X_j, Y_j との比を x, y とおく。すなわち、次式とする。

$$x = X_j/X, \quad y = Y_j/Y \quad j=6, 12, 18$$

Fig. 4 Graph plotting of Table 2 data and exponential regression curve. x means ratio of total lighting hours in all the process of continued growth test and 432 hours in continuous lighting and that of continuous lighting test Y_{24} . Regression curve 1: $y = 0.87x^{2.2}$. Regression curve 2: $y = x^2$

Table 2 のデータを光照射時間の比 x と収量の比 y に変換し図示したものが Fig. 4 である。 x と y についての回帰曲線を a, b を定数とする指数関数 $y = ax^b$ として、最適回帰曲線を求めてみると次式が得られた。

$$y = 0.87x^{2.2}$$

このとき、回帰曲線とデータとの標準偏差は 0.095 であった。

実験データが少ないことから確定的なことはいえないが、これらの結果からは大略、収量は24時間照射の場合に対する照射時間の比の二乗に比例すると考えてよいものと思われる。Fig. 4には、関数 $y=x^2$ の曲線も描いてあるが、この曲線を回帰曲線と考えたときデータとの標準偏差は0.23となる。

文 献

- 1) 巽 稔・堀 裕. 1969. そ菜の光合成に関する研究. 園芸試験場報告 **A8**: 127-140
- 2) 鴨田福也・内藤文男. 1976. 施設栽培トマトの生長解析. 野菜試験場施設栽培年報 **2**: 37-40
- 3) 安井秀夫・本多藤雄. 1977. 野菜の生育制御に関する生態学的研究 I. 野菜試験場報告 **C3**: 17-50
- 4) 野口正樹・吉川雅夫・星野和生・池田澄男・小林和彦. 1978. 野菜の収量成立要因の解析に関する研究. 野菜試験場報告 **A4**: 55-76
- 5) 森 茂樹. 1981. ビニルハウス内で栽培された数種の野菜におけるしゃ光処理の生長解析. 生物環境調節 **19**: 9-15
- 6) 森 茂樹. 1981. ビニルハウス内で栽培された数種の野菜における気象要素の影響の生長解析. 生物環境調節 **19**: 129-135
- 7) 安井秀夫・本多藤雄. 1982. 野菜の生育制御に関する生態学的研究 II. 野菜試験場報告 **C6**: 1-19
- 8) 上和田勉. 1985. サツマイモの水耕栽培に関する研究. 日本作物学会第181回講演会要旨 **55**: 122-123
- 9) 星野和生・吉川雅夫・野口正樹・池田澄男. 1977. 野菜の収量成立要因の解析に関する研究 I. 野菜試験場報告 **A3**: 1-29
- 10) 高辻正基・金子忠男・鶴岡 久. 1978. 植物の生長計測と環境制御. 科学の実験 **29**: 186-191
- 11) 宇田川雄二. 1982. 葉ネギの水耕栽培. 農業技術研究 **36**(9): 34-36
- 12) 大久保増太郎. 1982. 野菜の鮮度保持. 147. 養賢堂
- 13) 玉木浩二. 1983. 片持はりセンサを用いた植物重量生長計測. 生物環境調節 **21**: 27-35
- 14) 小田雅行. 1981. 施設野菜栽培と省エネルギー. 農業技術研究 **35**(3): 52-55
- 15) 玉木浩二. 1984. 載荷板による群落状態植物の重量生長計測. 生物環境調節 **22**: 15-21
- 16) 玉木浩二. 1975. 植物群落制御モデルによる農業生産システムの研究 (第一報). 農業機械学会誌 **37**: 315-320

Summary

This paper reports weight growth of *Chrysanthemum coronarium* in hydroponic culture under various conditions, measured by continuous and nondestructive weighing systems using load plate as already had been reported.

After 12 day's growth of seeds in constant environ-

ment, average weight of 25 seedlings was about 1 g. These seedlings were transplanted at intervals of 4 cm in lattice way on the load plate, and cultivated for 18 days in growth chamber under various combinations of temperature, light and nutrient conditions. Light conditions were realized by two 400 W metal halide lamps and four 300 W herogen lamps in use of taking color photograph. Illuminance were controlled by the number of lamps or regulating supply voltage to herogen lamps. Nutrient conditions of hydroponic water were supplied by changing weights of fine grained fertilizer (Hyponex) dissolved in every 10 liters were used in tests. Half of them were in the culture tank and the other in the reservoir tank. They were circulated periodically at every two hours to make their temperature uniform and to supply the air dissolved in them. 10 liters of them were exchanged and supplied by new ones every other day. Temperature of hydroponic water was not controlled, but it was about two or three degrees lower than setting temperatures of growth chamber.

1. After setting various prescribed conditions, tests were carried out and the results as shown in Table 1 were obtained. Maximum fresh yield grew out in the conditions, 25°C, 16 klux, 15 g/10 liters and the mean weights of individual plants was 13.6 g. This value was calculated as 8,510 kg in terms of yield per 10 are, and it was equivalent to about 3.5 times of average yield harvested in usual farming under structure.

2. Applying weight growth data measured at interval of six hours to exponential growth Eq. (1), it can be considered to be appropriate as regression curve within 50 g that was the total weight of 25 test plants, because the mean value of standard deviation from the regression curve was 2.29 g and this was equivalent to about 4.5% of 50 g.

3. Applying the same data to Robertson's growth Eq. (3), it can not be considered to appropriate as regression curve because the deviation were over from the measured data in logarithmic growth period and existence of upper growth limit was not confirmed in any tests.

4. Growth ratio of plants became small by changing illuminance weaker on the half way of cultivation test. Its degrees of reduction was smaller than that of cultivation test under lighting weaker constantly through all the process.

5. Yield, obtained by cultivating under lighting for a given period of hours in every day, can be nearly considered as the value that multiplied the yield gained under lighting continuously for 24 hr by the square of ratio of total hours in lighting intermittently to in lighting continuously.

(Received July 11, 1986)