

## れんこん表皮の褐変に関する研究 第3報

誌名	園藝學會雜誌
ISSN	00137626
著者	内山, 善雄 吉松, 敬祐
巻/号	49巻3号
掲載ページ	p. 383-391
発行年月	1980年12月

## れんこん表皮の褐変に関する研究 (第3報)

褐変に及ぼす生長調節物質と土壤還元の影響

内山善雄・吉松敬祐

(山口県農業試験場)

### Studies on the Epidermic Browning of Lotus Rhizome III. The Effects of Growth Regulators and Soil Reduction on the Browning

Yoshio UCHIYAMA and Keisuke YOSHIMATSU

Yamaguchi-ken Agr. Expt. Sta., Yamaguchi-shi 747-13

#### Summary

We investigated the effects of strongly reductive soil conditions and applying the growth regulators, ethephon, maleic hydrazide, and 2,4-D on the browning of lotus rhizome surface. The results obtained are summarized as follows:

1) Rhizome browning increased by applying the growth regulators, ethephon or maleic hydrazide, and decreased by applying 2,4-D or by giving strongly reductive soil conditions.

2) Oxidation potentials of rhizome tissue showed negative value in diurnal change all day. It increased from sunset and reached minimum at midnight, then began to decrease rapidly and reached maximum in the early morning.

3) The range of the fluctuation in diurnal change of oxidation potentials descended by the treatment of ethephon or maleic hydrazide, but ascended by 2,4-D or soil reduction.

4) Generally, all the treatments induced  $CN^-$  insensitive respiration in the rhizomes; whereas the increasing ratio of respiration under ascorbic acid substrates were inhibited by those treatments.

5) The change in the value of respiratory characteristics of  $CN^-$  sensitive respiration under ascorbic acid participation showed almost negative correlation to brightness of browning.

6) In multiple regression analysis of the data, the (partial) potentials during the night contributed to browning by 72%, and both the values of  $CN^-$  sensitive respirations under ascorbic acid substrate and Q values (respiratory quotient) contributed to browning by 67%.

#### 緒言

第1報(8)では、根茎表皮の褐変は土壤が強い還元状態であるほど、また根茎が生長点に近い節位であるほど、更に同一節内では基部に近い新しい組織であるほど、少ないことを指摘した。第2報(9)では、根茎の生体電位が土壤電位に対し正側にあるほど褐変が少なく、負側にあるほど褐変が多いことを述べ、根茎の生体電位を負側に導く要因として、地上部茎葉に由来する酸化的要因を考え、褐変機作に関する一つの推論を試みた。

本報では褐変現象を更に詳しく追究する目的で、2,3の生長調節物質を地上部(茎葉)に散布して吸収させ、また収穫前にでん粉を土壤に添加し、還元化させる等の処理を行い、それらの処理によって変動する生体電位並びに生体組織の呼吸における酸素吸収特性値等を測定した結果、褐変現象に関する若干の知見を得たので報告する。

#### 材料及び方法

##### 1. 試験区

コンクリート製円型ポット(径 68.5 cm, 高さ 53.5

cm)を地中に埋設し、周辺土壌の通気を断つため、ポット内壁を厚い塩化ビニルシートで覆い、土壌(河成沖積、砂質壤土、仮比重 1.20、深さ 33~35 cm) 150 kg を詰め、4月下旬に支那白花種の第1節位1本あて植付け、掘取時(10月3日)まで常時たん水した。3要素施用量は化成肥料を用い、N 3.6、P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 2.3、K<sub>2</sub>O 3.5 kg/a とし、更たいきゅう肥 250 kg/a を施用した。

9月15日、ethephon(商品名エスレル) 1,000 ppm, 2,4-dichlorophenoxy acetic acid(通称 2,4-D) 100 ppm, maleic hydrazide(商品名 MH-30) 1,000 ppm の各溶液 300 ml に展着剤(商品名リノー)を添加して各々のポット内のれんこん全葉の表裏に散布した。

なお、散布と同時に地上部の茎葉を切除した区と可溶性でん粉 500 g/ポットを施して強い還元状態にした区(実施に際しては、ポット下方に設けた取水栓を開いて表面水を下層へ移動させ、でん粉溶液の拡散浸透を図った)の各試験区を併設した。

## 2. 根茎の褐変

前報(8)に準じ、日本電色光電色差計(ND-K5型)で測定し、明度L値で表現した。

## 3. 根茎の生体電位

電位測定法は前報(8)に準じたが、本実験では測定電極を根茎第2節の中間部位組織内に固定し、TOA electronics multipoint pH recorder(model HMR-6)を用い、連続的に電位の変動を記録できるようにした。前報と同様に測定電位は、根茎周辺土壌の電位に対して得られる相対値である。

根茎が正常に生育する時の日変化における電位パターンについては、試料の処理前1週間における全測定値を平均し、機器補正值を加えて求めた。

他方、処理によって変動する電位については、処理後の翌日と2日目における平均値と、処理後8~10日目の3日間における平均値の各々に機器補正值を加え、得られる各々の値から前記処理前の値を差引き、前者の値を処理直後における電位変動量とし、後者の値を処理後10日前後における電位変動量とした。

## 4. 根茎と葉の呼吸酵素

根茎については、処理後18日目に掘取り、水洗して軽くポリエチレンフィルムで包み、15℃暗所に18時間保存後、電位測定部位に相当する第2節中間部組織を2~3mm平方の薄い切片に切り取り、その1.0gをワールブルグ検圧装置(30℃/30分)で酸素吸収量を測定した。

葉については、処理後2日目の夕刻に採取し、水洗して軽くポリエチレンフィルムで包み、15℃暗所に20時間保存後、径6mmの円型パンチで組織を切抜き、その

切片10枚(0.16g)を根茎同様にワールブルグ検圧計で測定した。

得定に際しては、ゲフィス内の反応液を以下の組合せにして行った。

(1) 試料+10<sup>-3</sup>M シアンカリ溶液 0.1 ml+0.3 M アスコルビン酸と 0.03 M tetra methyl-p-phenylene diamine dihydrochloride (TMPD) の混液 0.1 ml+pH 7.3 の 0.05 M トリスバッファー 3.0 ml

(2) 試料+0.3 M アスコルビン酸と 0.03 M の TMPD 混液 0.1 ml+pH 7.3 の 0.05 M トリスバッファー 3.0 ml

(3) 試料+10<sup>-3</sup>M シアンカリ溶液 0.1 ml+pH 7.3 の 0.05 M トリスバッファー 3.0 ml

(4) 試料+pH 7.3 の 0.05 M トリスバッファー 3.0 ml

以上の組成で得られる測定値について、(4)を内生基質呼吸、(3)~(4)をシアン(CN<sup>-</sup>)感受性呼吸、(2)~(4)をアスコルビン酸基質呼吸、(1)~(2)をアスコルビン酸基質下の CN<sup>-</sup> 感受性呼吸、(1)~(3)を CN<sup>-</sup> 抑制下のアスコルビン酸基質呼吸として各々を表示した。

## 結 果

### 1. 地上部の茎葉に発現する症状

処理の影響が地上部の茎葉に発現する症状を観察した結果は以下のとおりであった。

(1) 2,4-D 処理では処理後2日目に葉柄の先端がわい曲した。この現象は時間の経過とともに進行し、掘取時には1/3以上の葉が表裏を反転するに至った。もっとも激しい場合には葉柄がら旋状に回転し、屈性の方向を完全に失う症状を呈した。顕著に症状を呈した葉でも、組織切片を検鏡すると、同化生成物とみられる物質が観察され、葉脈からは乳白色物質を滲出するので、葉の光合成機能は停止していなかったものと推定された。

(2) エスレル処理では、識別できる障害症状を呈さなかった。わずかに葉面の緑色が増加し、幾らか生育が促進されたように観察された。他方、エスレル処理ではポット内表面水(かん水)の減量が激しく、茎葉による水分蒸散作用が異状に促進されているように観察された。

(3) MH 処理では、異常は認められなかった。

(4) 土壌の還元化処理では、処理後5日目に茎葉の一部が枯死し、処理後13日目には全葉が枯死した。他方、土壌の酸化還元電位(*E<sub>h</sub>*)は処理後3日目から急激に低下し、以後は-300 mV 前後で経過した。

地上部の茎葉に及ぼす生長調節物質散布処理の影響は、生育ステージによって、また処理濃度によって異なる

Table 1. Changes in L-value (color index) of rhizome surface caused by various treatments.

Treatment	Node order			
	n-1	n-2	n-3	n-1~n-3
Ethephon	39.9	44.4	37.3	40.5
2,4-D	52.6	55.3	54.3	54.1
Maleic hydrazide	47.2	43.0	49.0	44.9
Defoliation	56.1	56.3	60.4	57.6
Soil reduction	60.4	63.5	62.7	62.2
Non-treatment	52.1	50.5	49.9	50.8

った。筆者らの別の試験では、8月下旬に生長調節物質を上記の1/10の濃度として処理したが、生長調節物質による障害症状を強く発現した。

2. 根茎の褐変

第1表には処理によって得られた根茎のL値を掲げた。エスレルとMH処理では褐変が増加し、2,4-D、茎葉切除及び土壌の還元化処理では褐変が減少した。処理の影響を1~3節の平均値と無処理のそれと比較すると、エスレル及びMHでは各々のL値が10.3、5.9の低下を、2,4-D、茎葉切除及び土壌の還元化処理では各々3.3、6.8、11.4の上昇を示した。現在流通する品質評価の基準L値は、秀品が55、不良品が45で、評価を左右するL値の上下幅は10前後であると推測されることから、本実験における無処理のL値50.8をベースとして考えた場合、処理によって移動したL値の変動量は大きいと考えられる。特に、エスレルと土壌還元化処理との間には著しいL値の差が認められた。

地上部茎葉の切除と土壌還元の影響については、既に報告したところであるが、掘取直前の土壌の還元化処理で急激に褐変が減少したことは、褐変除去技術として実用的観点からも、今後の検討に値する手法のようである。

3. 根茎の生体電位

(1) 処理前の電位

処理前における根茎の生体電位は、供試ポットごとに生育差による個体差を反映し、若干の違いを示した。第1図には、処理前7日間（9月12日~9月18日）における全供試体の平均値における電位の日変動を示した。本図のパターンは、前記試験方法で述べたとおり、原則として根茎が正常に生育する場合の基本的電位の推移であると思われる。なお、参考のために測定期間中の日平均日射量、同気温、同湿度を各々併記した。また、図中に示したC<sub>1</sub>、C<sub>2</sub>、C<sub>3</sub>は各々午前、午後、及び夜間に対応させた1日の時間区分帯である。

本図に示したとおり、地上部の茎葉が正常に生育を経

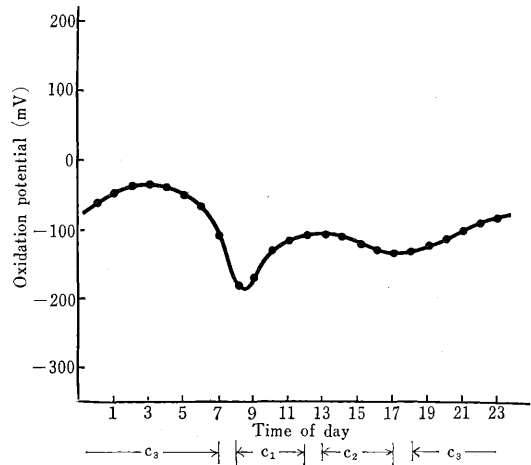


Fig.1. Diurnal variation of oxidation potential of the non-treated rhizome tissue.

C<sub>1</sub>, C<sub>2</sub> and C<sub>3</sub> are the partial time of day for AM 8.00~AM 12.00, PM 1.00~PM 5.00 and PM 6.00~AM 7.00, respectively.

Average insolation	...	306(cal/cm <sup>2</sup> /day).
Average air temperature in	C <sub>1</sub>	... 24.8°C.
〃	C <sub>2</sub>	... 27.3°C.
〃	C <sub>3</sub>	... 21.7°C.
Average relative humidity in	C <sub>1</sub>	... 67.9%.
〃	C <sub>2</sub>	... 64.7%.
〃	C <sub>3</sub>	... 91.0%.

過する場合、その根茎電位は昼夜間を問わず、常に周辺土壌に対し負側で推移した。変動の状況を時間の経過でみると、まず電位は日没後漸次正側に移動し、深夜に日サイクルで最も正側に高い値（-30 mV）に達する。以後、未明に移動が負側の方向へ転じ、早朝急激に低下し、日サイクルでの最低値（-180 mV）に達した。日中は午前と午後で移動方向を緩やかに変えながら、前述の日没後へと連動する。このように日サイクルの中で最高・最低を示す時刻がいずれも日中でなかったことが注目される。

既報で指摘したとおり、根茎の褐変は電位が正側にあるとき減少し、負側にあるとき増加する。本試料では電位が正側へ移動した時の最高値でも、その値は土壌に対し負であったから、このような電位移動領域では、根茎の褐変は蓄積の方向に進行していると推察される。

(2) 処理後の電位

処理直後における電位の推移を第2図に、同じく10日前後における推移を第3図にそれぞれ示した。

第2図に示すとおり、土壌の還元化、茎葉の切除、2,4-Dの各処理では、処理前に比し主に正側の域で、エスレル、MH処理では主に負側でそれぞれ推移した。1

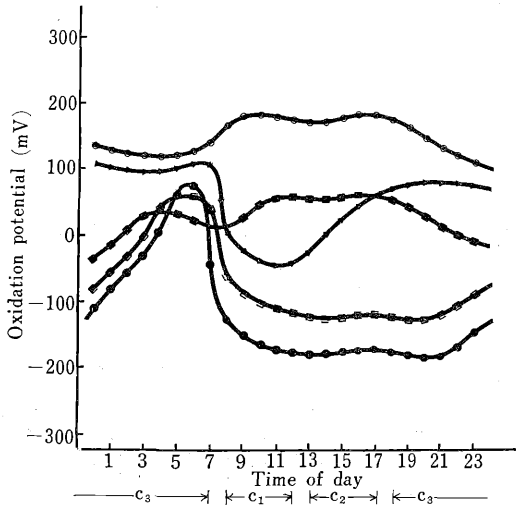


Fig. 2. Diurnal variations of average oxidation potentials in the rhizome tissues for 1~2 days after the treatments.

C<sub>1</sub>, C<sub>2</sub> and C<sub>3</sub> are the partial time of day for AM 8.00 ~AM 12.00, PM 1.00~PM 5.00 and PM 6.00~AM 7.00, respectively.

Defoliation	○—○—○—○—○
Soil reduction	△—△—△—△—△
Ethephon	□—□—□—□—□
Maleic hydrazide 2,4-D	◇—◇—◇—◇—◇
Average insolation	... 396(cal/cm <sup>2</sup> /day).
Average air temperature in C <sub>1</sub>	... 25.7°C.
C <sub>2</sub>	... 28.9°C.
C <sub>3</sub>	... 21.3°C.
Average relative humidity in C <sub>1</sub>	... 75.0%.
C <sub>2</sub>	... 51.0%.
C <sub>3</sub>	... 90.0%.

時間ごとに求めた電位量の 24 時間合計値は、切除処理が +3,536 mV, 土壌の還元化処理が +1,505 mV, 2,4-D 処理が +572 mV で、処理前に比し各々の 1 日における電位が正側へ移動したことが分った。反対にエスレル及び MH 処理では、その値がそれぞれ -2,163 mV, -1,409 mV で、電位が負側へ移動したことが分った。処理のうち、最も電位移動の大きかった茎葉の切除とエスレル処理との間には、変動量の差が 5,699 mV (24 時間あたり)、また変動量の少なかった 2,4-D と MH 処理の間でも、1,981 mV の差が見いだされ、処理による根茎電位に与えた影響は強かった。

日変化のパターンを処理別で見ると、エスレルと土壌還元化とは電位移動域が大きく違いますが、両者には処理前にみられた早朝の急激な低下現象が共通して認められ、比較的類似するパターンを示した。他方、2,4-D 処理と茎葉切除では、早朝の電位低下現象が不明確で、む

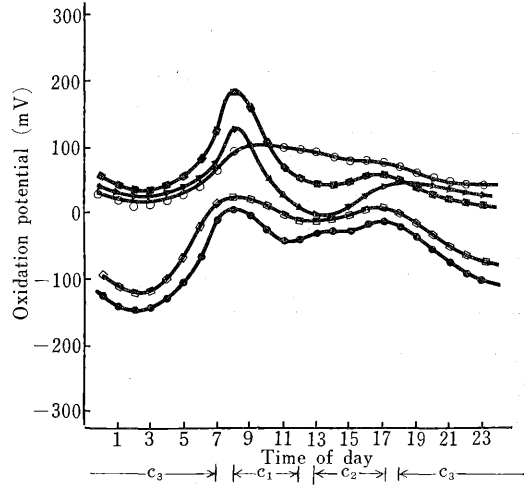


Fig. 3. Diurnal variations of average oxidation potentials in the rhizome tissues for 8~10 days after the treatments.

C<sub>1</sub>, C<sub>2</sub> and C<sub>3</sub> are the partial time of day for AM 8.00 ~AM 12.00, PM 1.00~PM 5.00 and PM 6.00~AM 7.00, respectively.

Defoliation	○—○—○—○—○
Soil reduction	△—△—△—△—△
Ethephon	□—□—□—□—□
Maleic hydrazide 2,4-D	◇—◇—◇—◇—◇
Average insolation	... 308(cal/cm <sup>2</sup> /day).
Average air temperature in C <sub>1</sub>	... 23.4°C.
C <sub>2</sub>	... 24.9°C.
C <sub>3</sub>	... 20.0°C.
Average relative humidity in C <sub>1</sub>	... 68.3%.
C <sub>2</sub>	... 65.2%.
C <sub>3</sub>	... 89.7%.

しろ上昇するなど、処理前のパターンと著しく異なる変動を示した。

第 3 図に示した処理後 10 日前後における電位の推移は、基本的には第 2 図のパターンと同様であると判断される。土壌の還元化、茎葉切除、2,4-D の各処理では、処理直後から引続き正側域で推移し、エスレル及び MH 処理では引続きそれぞれ負側域で推移した。しかし、1 時間ごとの電位を 24 時間合計した電位量では、土壌の還元化処理、茎葉切除、2,4-D 処理のそれぞれが +1,175 mV, +1,210 mV, +1,572 mV, またエスレル及び MH 処理がそれぞれ -1,307 mV, -410 mV であった。これらの変動量は、処理直後で得られた値に比し、土壌還元化処理が 0.8 倍、茎葉の切除が 0.3 倍、2,4-D 処理が 2.7 倍、エスレル処理が 0.6 倍、MH 処理が 0.3 倍に各々相当し、2,4-D 処理を除く他の処理ではいずれも減少していた。このことから、生体には時間の

Table 2. Respiratory characteristics of rhizome tissues.

Treatment	Inner substrate	CN <sup>-</sup> sensitive	Ascorbic acid substrate	CN <sup>-</sup> sensitive under ascorbic acid	(O <sub>2</sub> μl/g/30min/30°C)	
					Ascorbic acid substrate under CN <sup>-</sup>	Respiratory quotient (Q)
Ethephon	3.70	-2.63	0.75	-1.17	2.22	0.53
2,4-D	3.82	-2.45	2.37	-1.97	2.85	0.62
Maleic hydrazide	4.17	-2.65	1.58	-2.45	1.78	0.69
Defoliation	5.45	-3.75	2.55	-3.43	2.87	0.42
Soil reduction	3.78	-2.55	1.48	-3.18	0.85	0.41
Non-treatment	2.50	-1.87	1.82	-2.47	1.22	0.79

経過とともに徐々にゼロ値，すなわち処理前の値に戻ろうとする作用のあることが推察された。

4. 根茎と葉の呼吸酸素

第2表には根茎の呼吸における酸素吸収量を，第3表には葉の呼吸における酸素吸収量を掲げた。表中では負の符号を示す値もあるが，前記試験方法で述べたとおり，これは呼吸障害によって減少した酸素量を示すものである。

第2表の根茎についてみると，内生基質による酸素吸収量は各処理によって増加し，特に茎葉の切除で著しかった。CN<sup>-</sup>感受性呼吸でも，各処理によって呼吸量が増加することを示したが，内生基質呼吸に対するこの呼吸の比率は，無処理が75%であるのに対し，処理の場合の比率はいずれも無処理よりも小さい値を示した。このことは，処理によってCN<sup>-</sup>非感受性呼吸へ移行したことを示唆し，その傾向は2,4-D及びMH処理で一層早められると推測された。

アスコルビン酸を基質とする酸素吸収量は，処理の有無にかかわらずいずれも増加した。内生基質呼吸に対するこの呼吸の増加率は，いずれも無処理区の比率72%よりも小さく，2,4-D処理区では20%にすぎなかった。このようにアスコルビン酸基質による呼吸は，処理によって抑制された。この現象はCN<sup>-</sup>感受性呼吸でみられた傾向を裏付ける呼吸生理上の一つの変化でもあらうと推考される。

アスコルビン酸基質下のCN<sup>-</sup>感受性酸素吸収量と内生基質による酸素吸収量とを比較すると，その比率が無処理区で99%と最も高く，エスレル処理区が32%で最も小さかった。またアスコルビン酸基質下のCN<sup>-</sup>感受性酸素吸収量と前記CN<sup>-</sup>感受性酸素吸収量とを比較すると，その値はエスレル処理の場合が1/2に低下しており，2,4-D，MH及び茎葉の切除各処理区でも若干の低下が認められる。しかし，土壌の強い還元処理ではむしろ増加している。この相反する傾向は，CN<sup>-</sup>感受性呼吸の消長にアスコルビン酸が何らかの形で関与したこと

を示唆するが，その内容については今後の検討に待たねばならない。

CN<sup>-</sup>存在下でのアスコルビン酸基質による酸素吸収量が内生基質呼吸に占める比率は，2,4-D処理が過も高く，75%を示したが，土壌の強い還元処理では無処理区が示す値49%よりも小さかった。CN<sup>-</sup>存在下のアスコルビン酸基質呼吸は，アスコルビン酸単独の基質呼吸に比し，無処理区と土壌の強い還元処理区の場合は小さい値を示したが，他の処理区では高い値を示し，特にエスレル処理では約3倍の高い値に達した。エスレルがCN<sup>-</sup>抑制下でのアスコルビン酸基質呼吸を促進する生理作用を有する可能性があるように思われる。

第3表には葉における酸素吸収量を示した。葉の場合は処理が直接的であったこともあって，その影響は根茎の場合よりも一層強く現れた。

内生基質呼吸では，根茎に比し著しく高い値を示したが，2,4-DとMH処理区では無処理区よりも低下し，エスレル処理区で増加したことが特徴的であった。

CN<sup>-</sup>感受性呼吸では，無処理区に比しエスレル及び2,4-D処理区が高い値を示し，MH処理区が低かった。内生基質呼吸に対するこの呼吸の比率は，各処理区とも根茎が示した値よりも低かった。

アスコルビン酸基質による酸素吸収量は，根茎と異なり各処理区とも負の値を示し，アスコルビン酸が酸素吸収に阻害的な影響を与えた。アスコルビン酸が根茎で呼吸を増加させ，葉で抑制させたことは，アスコルビン酸の生体内における形態とも関連しているように考えられる。

葉ではアスコルビン酸もCN<sup>-</sup>同様に阻害的に作用するから，単純に両者の測定値を合計した値がアスコルビン酸基質下のCN<sup>-</sup>感受性酸素吸収量と考えられないこともない。本表が示すとおり，無処理区，MH及びエスレル処理区ではそのようにしてほぼ近似する値が得られる。しかし2,4-D処理区では異なる値を示した。2,4-D処理の場合，アスコルビン酸の阻害作用がCN<sup>-</sup>感受性

Table 3. Respiratory characteristics of leaves.

 $(O_2 \mu l/g/30min/30^\circ C)$ 

Treatment	Inner substrate	CN <sup>-</sup> sensitive	Ascorbic acid substrate	CN <sup>-</sup> sensitive under ascorbic acid	Ascorbic acid substrate under CN <sup>-</sup>
Ethephon	73.48	-29.03	-0.01	-34.77	-5.73
2,4-D	35.84	-22.94	-8.60	-14.87	-0.54
Maleic hydrazide	38.35	-16.85	-2.87	-16.13	-2.15
Non-treatment	39.07	-19.71	-1.43	-20.43	-2.15

呼吸に及ぼす阻害作用と共通していると考え、22.94 - 8.60 = 14.34 の値が得られ、測定値と近似するので、こうした現象が存在するのかも知れない。なお、内生基質呼吸に対するアスコルビン酸基質下の CN<sup>-</sup> 感受性呼吸の比率は、無処理区の場合 52% であった。前述したように根茎ではこの値が 99% であり、地上部と地下部の違いが特徴的に認められた。

CN<sup>-</sup> 存在下のアスコルビン酸基質による酸素吸収量は負の値を示した。アスコルビン酸単独で阻害作用を示したためである。CN<sup>-</sup> 阻害量とアスコルビン酸阻害量を考慮して CN<sup>-</sup> 存在下のアスコルビン酸基質呼吸量をみると、2,4-D 及びエスレル処理では CN<sup>-</sup> 抑制下でのアスコルビン酸基質呼吸が促進されていることが分かる。その促進効果は根茎でみられるほど大きい値ではないが、無処理に比し各々 1.6 倍、1.2 倍に相当した。

#### 5. 褐変現象における生体電位と呼吸特性値の相関及びその寄与率

根茎生体電位の変動と根茎の呼吸特性値が褐変現象に関与する程度を明らかにするために重回帰分析を行った。重回帰分析に当たっては、供試個体全部の測定値をプールして計数化し、まず褐変  $L$  値を目的変数に、生体電位を説明変数として、生体電位の日変化における特定時間帯の電位量が関与する影響を検討した。説明変数に設定した生体電位  $\Sigma$  は、日変化の中で 1 時間ごとに測定した電位量の 24 時間合計値であり、 $C_1$  は同じく日変化の中で午前 8 時～同 12 時、 $C_2$  は午後 1 時～同 5 時、 $C_3$  は午後 6 時～翌朝 7 時までの 1 時間ごとの測定の小計値である。

第 4 表上段にこの特定時間帯の相関行列を掲げた。 $\Sigma$  が危険率 5% 以下で有意であるから、一連の C 系列が高い相関係数を与えることは当然であるが、特に  $C_3$  すなわち夜間電位が最も高い相関を示した。そこで、 $C_3$  単因子による説明を重回帰式で求め、第 4 表下段の結果が得られた。日変化の中で  $C_3$  に示される電位量が高い値を示す程  $L$  値が上昇し、褐変が減少する。こうして、 $C_3$  が褐変に対し 72% 以上の寄与率で関与することが明らか

Table 4. Correlation coefficients between  $L$  and oxidation potentials, and contribution rate of  $C_3$ .

	$L^z$	$\Sigma^y$	$C_1^x$	$C_2^w$	$C_3^v$
$L$	1.00	0.82***	0.60**	0.68**	0.85***
$\Sigma$		1.00	0.87***	0.93***	0.92***
$C_1$			1.00	0.93***	0.64**
$C_2$				1.00	0.73***
$C_3$					1.00

#### Analysis of variance for $C_3$

	SS <sup>u</sup>	DF <sup>t</sup>	MS <sup>s</sup>	F
R <sup>r</sup>	4.29	1	4.29	21.0***
E <sup>q</sup>	1.64	9	0.18	
Total	5.93	10		

Standard regression coefficient ..... 0.85.

Multiple correlation coefficient ..... 0.85.

Contribution rate ..... 72.41.

 $z(L)$  ...Value of color index. $y(\Sigma)$  ...Total oxidation potential for AM 0.00~PM 11.00. $x(C_1)$  ...Partial oxidation potential for AM 8.00~AM 12.00. $w(C_2)$  ...Partial oxidation potential for PM 1.00~PM 5.00. $v(C_3)$  ...Partial oxidation potential for PM 6.00~AM 7.00. $u(SS)$  ...Sum of square. $t(DF)$  ...Degree of freedom. $s(MS)$  ...Mean of square. $r(R)$  ...Main effect. $q(E)$  ...Error.

になった。

次に根茎の呼吸特性値(酸素吸収量)が褐変に関与する影響を検討した。目的変数  $L$  に説明変数を測定項目の 5 変数に  $Q$ (呼吸商)を加えた 6 変数とした。第 5 表上段がその相関行列である。危険率 5% 以下で有意である要因の組合せは、 $L$  とアスコルビン酸基質下の CN<sup>-</sup> 感受性酸素吸収量であった。この相関は符号が負であるから、 $L$  値が高い値を示すほど、負で表現される酸素吸収量は負側に低下する。すなわち、アスコルビン酸基質による酸素吸収量が高く、CN<sup>-</sup> 感受性酸素吸収量が低い値で

Table 5. Correlation coefficients between L and respiratory characteristics, and contribution rate of rhizome respiration.

	L <sup>z</sup>	R <sub>1</sub> <sup>y</sup>	R <sub>2</sub> <sup>x</sup>	R <sub>3</sub> <sup>w</sup>	R <sub>4</sub> <sup>v</sup>	R <sub>5</sub> <sup>u</sup>	Q <sup>t</sup>
L	1.00	0.20	-0.21	0.40	-0.72***	-0.19	-0.34
R <sub>1</sub>		1.00	-0.97***	0.52*	-0.62**	0.73***	-0.02
R <sub>2</sub>			1.00	-0.49*	0.62**	-0.72***	-0.06
R <sub>3</sub>				1.00	-0.64**	0.58**	0.29
R <sub>4</sub>					1.00	-0.12	-0.06
R <sub>5</sub>						1.00	0.20
Q							1.00

Analysis of variance for R<sub>1</sub> and Q

	SS <sup>s</sup>	DF <sup>t</sup>	MS <sup>q</sup>	F
R <sup>p</sup>	289.41	2	144.70	8.2***
E <sup>o</sup>	141.52	9	15.72	
Total	430.93	11		

Standard regression coefficient R<sub>4</sub> ..... -0.75

Q ..... -0.39.

Multiple correlation coefficient ..... 0.82.

Contribution rate ..... 67.16.

z (L) ...Value of color index.

y (R<sub>1</sub>) ...O<sub>2</sub> absorption by under inner substrate.

x (R<sub>2</sub>) ...O<sub>2</sub> absorption by CN<sup>-</sup> sensitive.

w (R<sub>3</sub>) ...O<sub>2</sub> absorption by under ascorbic acid substrate.

v (R<sub>4</sub>) ...O<sub>2</sub> absorption by CN<sup>-</sup> sensitive under ascorbic acid substrate.

u (R<sub>5</sub>) ...O<sub>2</sub> absorption by ascorbic acid substrate under CN<sup>-</sup>.

t (Q) ...Respiratory quotient.

s (SS) ...Sum of square.

r (DF) ...Degree of freedom.

q (MS) ...Mean of square.

p (R) ...Main effect.

o (E) ...Error.

消長するとき、アスコルビン酸基質下の CN<sup>-</sup> 感受性酸素吸収量が負側に低下し、褐変が減少することを示す。

このようにアスコルビン酸基質下の CN<sup>-</sup> 感受性呼吸が褐変と相関が高いので、内部相関で独立性の強かった Q を加え、説明変数を 2 変数として重回帰分析を行った結果を第 5 表下段に示した。褐変に対する寄与率は、前述した生体電位ほど高くないが、アスコルビン酸基質下の CN<sup>-</sup> 感受性呼吸と Q とで 67.2% の寄与率を示し、呼吸現象が重要な意義を持つことが判明した。

次に褐変に対し高い寄与率を示した C<sub>3</sub> を目的変数に取り、各呼吸特性値と Q の 6 変数を説明変数として重回帰分析を行った。C<sub>3</sub> に対する説明変数の影響の強さは、アスコルビン酸基質下の CN<sup>-</sup> 感受性呼吸 > Q > アスコルビン酸基質呼吸の順であった。この 3 変数の標準回帰係数は各々 0.326, -0.363, -0.429 で、3 変数に

よる重回帰係数が 0.840、寄与率が 70.5% であった。

以上の重回帰分析の結果から、褐変現象には生体電位 C<sub>3</sub> とアスコルビン酸基質下の CN<sup>-</sup> 感受性呼吸が高い寄与率で関与することが分かった。

### 考 察

根茎の褐変は、根茎電位が負側に移動するほど増加し、正側に移動するほど減少することが、本報における一連の実験結果によって一層明らかになった。

電位の日変動における推移を移動の方向からみると、午前 (C<sub>1</sub>) は正へ、午後 (C<sub>2</sub>) は負へ、そして夜間 (C<sub>3</sub>) に正へ移動し、早朝急激に負へ低下する。この早朝時の低下が日サイクルの中で負側の極大値を示した。

水稻葉について電位の変動を検討した馬場の報告(1)によると、光合成開始と同時に Eh が低下し、光合成の衰退と同時に Eh が上昇し、光合成の影響が速やかに Eh の変動に反映すると述べている。れんこんは水稻と同様に考えられないが、機能的には水生植物として共通するところが多い。馬場が指摘したように地上部茎葉の光合成がれんこんにおいても電位低下の要因として根茎に何らかの影響を与えているのであろうことは十分に考えられる。

筆者らは前報(9)で地上部の茎葉が供給する酸素に由来する影響が、電位の低下を促すであろうと推論した。本実験の結果では、日中の電位低下が午後、緩やかに現れむしろ早朝に急激な低下を示したことから、光合成に由来する電位低下要因の生体内における影響は徐々に進行し、そして電位移動現象に連動するまでには、かなりの時間を要しているように考えられる。このことは、光合成に因る分子状酸素が関与するとすれば、それは生体内での諸反応を介在して間接的に影響を及ぼしたであろうことを示唆している。

一方、吉田(10)は水稻根への光合成産物の転流を <sup>14</sup>C で追究し、6~10 時間後根茎先端に集中し、同化成分の根への分配率は 48 時間後まで一次反動的に上昇すると報告している。れんこんにおける転流物質の動向に関する詳しい報告が見当たらないが、24 時間サイクルの上述の電位低下現象は、転流成分の動向とも関連して重要な意味を持つと考えられる。

地上部の茎葉から化学物質を吸収させると根茎電位は、物質の種類により、日変動のパターンを変化させ、電位移動域、移動量等に各々特徴的な違いを呈した。

本実験で使用した生長調節物質は、エスレル、2,4-D 及び MH で、今日園芸分野ではそれぞれ有効な用途が見出されている植物ホルモンである。

エスレルの作用機作については、不明なところが多



い。一般にはエチレンの末端2重結合が細胞内受容体と結合して、蛋白合成系の transcription に影響を与えると理解されているようである(4)。エスレルが地上葉、根茎における呼吸酸素の吸収量(内生基質)を増加させたが、エスレルが他の植物組織でも呼吸を増加させることについては、例えば貯蔵青果物等で多く認められているところである(6)。本実験ではエスレルが更に根茎生体の電位を負側に移動させ、褐変を増加させた。褐変の消長は既に指摘したとおり、生体組織の aging とも密接で、例えば根茎の節位が生長点を持つ先端節位から遠い節位(古い)であるほど、また同一節位では中間位から先端方向に位置する古い組織であるほど、生体電位が負側に低下し、褐変が多いことが観察されている。エスレルが組織の aging を促進させ、いわゆる老化の方向へ生体反応が進行しているのではないかと推考される。

2,4-D が生体に及ぼす機作についても、エスレルと同じく不明なことが多い。一般には微量で作用する場合、生体内でエチレンを発生させ、オーキシン作用を呈するが、高濃度ではミトコンドリアの酸化的リン酸化を阻害し、オーキシン作用をかく乱すると言われる(5)。また、2,4-D には細胞壁マトリックスを構成する非セルロース性多糖類の代謝回転を触媒する酵素系を阻害し、細胞膜構造の変化をもたらす作用があるとも言われる(4)。本実験の 2,4-D 処理では、葉柄が屈曲し、葉の表裏を反転する異状な症状を発現した。恐らく、根茎表皮の細胞膜構造にも何らかの変化を与えたであろう。根茎の褐変は正常な生育機能のもとで表皮に生成される生理的自然現象であるから、その機能が阻害されると褐変の生成は抑制されるかも知れない。

筆者らが土壌の微生物が褐変に及ぼす影響を知るために、硫酸マイシンを土壌に施用した際、硫酸マイシンが原因したと考えられる生体機能の低下が根茎の内生成分(アスコルビン酸)含量に影響を与え、褐変が減少することを知った(7)。このように褐変の減少には、生体機能の低下が関与するものと考えられるが、2,4-D 処理の場合は前述のとおり、細胞壁のマトリックスに変化を与えることから、根茎の表皮細胞における機能障害が褐変の減少に影響したのではないかと考えられる。

MH は生体内で RNA に取り込まれ、有糸分裂や呼吸経路を阻害し、エネルギー利用上不利な呼吸系へ移行させると考えられているようである。MH 処理では根茎の生体電位が概して負側で推移し、褐変を増加させたが、呼吸特性値で特筆するほどの変化を示さなかった。

本実験では茎葉の切除と土壌の強い還元化処理の影響を併行して検討した。この2処理は根茎電位を正側へ移

動させ、褐変を減少させた。茎葉の切除では、静電的に本来両性的である生体細胞が、光合成に由来する酸化的要因が断たれるため正側へ移動したものと考えられる。また土壌の強い還元化では、土壌 Eh が低下(-200~-300 mV)したために、根茎周辺の土壌環境が必然的に生体の相対電位を正側に保持させ、褐変をそれぞれ減少させたものと考えられる。

本実験では生体の呼吸特性に関して、シアンカリ添加による CN<sup>-</sup> 感受性呼吸(CN<sup>-</sup> 非感受性呼吸)及びアスコルビン酸添加によるアスコルビン酸基質呼吸を中心に検討した。

先づ、内生基質呼吸では各処理区とも根茎の呼吸量を増加させたが、特に茎葉切除区では無処理区の 2.2 倍に相当する呼吸量の増加を示した。また葉では処理方法によって呼吸が抑制された区(2,4-D)もあったが、エスレル処理区では呼吸量の増加を明確に示した。このような呼吸の促進現象は、CN<sup>-</sup> 感受性呼吸についても同様に認められた。他方、CN<sup>-</sup> 非感受性呼吸の存在は各処理区で認められ、狩野ら(3)が述べたように、れんこんにおいても、CN<sup>-</sup> によって呼吸が完全に阻害されることはなかった。

アスコルビン酸を基質とする呼吸は、各処理区とも根茎で増加したが、葉では減少した。またアスコルビン酸を基質とする CN<sup>-</sup> 感受性呼吸は、前述したとおり、この呼吸の内生基質呼吸に対する比率が、地上部と地下部とでは著しく違っていた。アスコルビン酸は根茎に 70~100 mg%, 葉に 500 mg% 前後含まれ、しかもその大部分は根茎では還元型として、葉では酸化型として存在する多量の内成分である。地上部と地下部における呼吸の違いは、アスコルビン酸の生体内における形態及び含量の違いとも関連があるように推考される。更にアスコルビン酸が植物組織の生体電位に及ぼす影響も指摘されており(2)、褐変現象に関与する電位変動の面からも見逃すことのできない成分のようである。

次に、CN<sup>-</sup> 抑制下におけるアスコルビン酸基質呼吸については、前述で指摘したところであるが、この呼吸は特にエスレル処理区では、アスコルビン酸単独の基質呼吸に比し、地上部も地下部もともに高い呼吸の上昇を示した。エスレルの作用は、一般に植物細胞の老化ステップを早めると理解されている。根茎は生態的に aging を進行させると褐変を増加するので、エスレルがもたらしたと考えられる CN<sup>-</sup> 抑制下におけるアスコルビン酸基質呼吸の促進現象は、褐変生理を考察する上で一つの示唆を与えているようである。

本実験で得られた成績と褐変との関連性を明らかにす

るため、重回帰分析による解析を試みた。分析に際しては、説明変数を増減させて、重相関係数が最大になる変数の組合せを求めた。その結果、褐変  $L$  に対する生体電位では、夜間電位量が最大の寄与率 72% を示し、また呼吸特性値ではアスコルビン酸基質下の  $CN^-$  感受性呼吸と  $Q$  の 2 変数で 67% の寄与率を示すことが分かった。このように根茎の褐変現象は、生体電位と呼吸特性とで大部分説明可能であることが知られたので、今後更に詳細にわたって検討を行い、褐変現象を明らかにしたい。

### 摘 要

数種生長調節物質（エスレル、2,4-D, MH）の葉面散布並びに土壤の還元化等の処理によって変動する根茎の生体電位、呼吸特性値を測定し、褐変現象を検討した。その結果、以下の知見を得た。

1. 根茎の褐変がエスレル及び MH 処理で増加し、2,4-D、莖葉の切除及び土壤の強い還元化処理で減少した。
2. 根茎生体電位の日変動は、常に負側で推移し、深夜に正側への最高値（マイナス）を、早朝に負側の最低値を示した。
3. エスレル及び MH 処理によって電位変動域が負側へ低下し、2,4-D、莖葉切除、土壤の強い還元化処理では正側へ上昇した。
4. 処理は概して根茎の  $CN^-$  非感受性呼吸への移行を早め、アスコルビン酸基質呼吸の増加率を抑制した。
5.  $CN^-$  感受性呼吸にアスコルビン酸が関与したときの特性値の変動と褐変とは負の相関を示した。
6. 重回帰分析では夜間の電位量が根茎の褐変に対し 72% の寄与率を示し、アスコルビン酸基質下の  $CN^-$  感受性呼吸と  $Q$ （呼吸商）の 2 変数が 67% の寄与率を示した。

謝 辞 本研究を行うに当たり、種々御助言をいただいた山口県農試場長・和田土郎氏に深く感謝の意を表する。

### 引用文献

1. 馬場越・稲田勝美. 1955. 水稻組織汁液の酸化還元電位について. その 2. 日照及び水温が酸化還元電位に及ぼす影響. その 3. 酸化還元電位の生育時期による変化. その 4. 水稻葉の酸化還元電位の品種間差異. 日作記. 23: 187—191.
2. 馬場越・稲田勝美. 1956. その 5. アスコルビン酸及びグルタチオンと酸化還元電位との関係. 日作紀. 25: 75—77.
3. 狩野広美・熊沢喜久雄・三井進午. 1969. 植物根のシアン化物感受性呼吸について（第 1 報）. 土肥誌. 40: 473—478.
4. 松中昭一. 1976. 植物毒理学入門. pp. 49—53, 80. 東京大学出版会.
5. 鈴木直治. 1976. 農薬の生理作用. pp. 279—284. 南江堂.
6. 寺井弘文・緒方邦安. 1976. 果実追熟に対するエチレン効果の機作に関する研究（第 3 報）・エチレンによるバナナ果皮切片的呼吸促進に対する数種蛋白質合成阻害剤の影響. 園学雑. 45: 300—306.
7. 内山善雄・吉松敬祐. 1980. れんこん根茎表皮の褐変に関する研究・微生物活性に対する影響要因が根茎表皮の褐変と内成分に与える影響. 山口県農試研報. 32: 39—48.
8. 内山善雄・吉松敬祐・井口卓平. 1977. れんこん表皮の褐変に関する研究（第 1 報）. 褐変物質とその消長. 園学雑. 46: 369—374.
9. 内山善雄・吉松敬祐・井口卓平. 1979. れんこん表皮の褐変に関する研究（第 2 報）. 褐変に及ぼす土壤還元と莖葉が供給する酸素の影響. 園学雑. 47: 473—478.
10. 吉田武彦・宮松一夫. 1968. 水稻根への光合成産物の転流形態と根中における形態変化について. 土肥誌. 39: 228—232.