

## れんこん表皮の褐変に関する研究 第1報

誌名	園藝學會雜誌
ISSN	00137626
著者	内山, 善雄 吉松, 敬祐 井口, 卓平
巻/号	46巻3号
掲載ページ	p. 369-374
発行年月	1977年12月

## 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

内山善雄・吉松敬祐・井口卓平

(山口県農業試験場)

### Studies on the Epidermic Browning of Lotus Rhizome

#### I. The Brown Substances and their Seasonal Changes

YOSHIO UCHIYAMA, KEISUKE YOSHIMATSU and TAKUHEI IGUCHI

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

#### Summary

The brown colored lotus rhizomes are usually produced by common cultural practices. When the brown substances were formed high concentration on the rhizomes, their marketabilities were reduced extremely because of undesirable color.

The browning substances were determined and their seasonal changes were also determined in this study.

1. The amount of brown substances increased continuously until late-Sept., then decreased steadily. Such seasonal change suggests that the brown formation and dissolving is caused by oxidation and reduction which is closely associated with the lotus growth and the soil conditions.

2. The smaller quantities of brown substances were situated in the first node of rhizome, but were larger in the later nodes, while the brown formation in each node itself was observed largely in the portion of growth direction of that node.

3. The analytical results of brown substances by fluorescent X-ray showed that Fe is a dominant and was followed by the small Mn. Other metallic elements such as Zn, Ni and Cu, though detected in a slight amount, were not at all clear why existed in this substances. It was supposed by some quantitative analysis that the brown substances exist principally in oxidized or similar formulas.

4. Since there is a strong relationship between Fe contents and L-values (color) in rhizome, the approximate contents of Fe or Mn could be obtained only by measurement of L-value with relation of equality linear function.

5. The amount of brown substances between experimental plot A and B differed considerably. The compost application (plot-B) reduced the accumulation of brown substances. Therefore, it was supposed that the compost plays as important role in diminishing functions of brown phenomenon.

#### 緒言

れんこん (*Nelumbo mucifera* GAERTN) は生育の過程で根茎表皮に褐変物質を被膜状、すじ状、あるいは斑点状等種々の状態に付着する。この褐変物質は根茎の外観を損ね、市場価格に著しく支障をきたすので生産地では深刻な問題になっている。

そこで、褐変を栽培方法あるいは栽培環境の改善によって防止しようとする目的をもって本研究に着手したが、先ず栽培期間中における褐変現象の消長と褐変物質

の本質を明らかにすることとした。

水稲根の褐変現象については、秋落ち現象の解明等でその生化学的機作が詳しく究明され報告も多い(1, 2, 3)。しかし、れんこん根茎表皮の褐変現象に関する研究は殆んどなく不明なことが多い。塩田(5)、高瀬(6)等が流通利用の見地かられんこん表皮の褐変部を分析し、鉄を多量に検出したことから褐変物質を鉄の酸化物であろうと推測している。上田(7)はれんこんの栽培適地土壌条件を検討し、その導入にあたって遊離鉄含量の少ない土壌が望ましいと述べている。

このようにれんこんの褐変には鉄が関与していると考えられるが、その生成、消長についてはまったく不明である。

材料および方法

れんこん生産団地内に試験圃場 A, B 区を設定し (山口県岩国市通津), A 区には有機入化成肥料のみを, B 区には有機入化成肥料に加え, 堆きゅう肥 2,000 kg/10 a を施肥した。両区における有機入化成肥料による 3 要素施用量は, N : 38, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> : 20, K<sub>2</sub>O : 36 各々 kg/10 a であった。両試験区の土壌断面調査結果は第 1 表のとおりであった。

4 月下旬に支那白花種を植付け (250 kg/10 a), 慣行法で栽培し根茎を 8 月, 9 月, 10 月, 11 月に掘取り, 以下の各項目について分析, 測定した。

1. 根茎の色調 (褐変)

根茎全体の平均の色調の代表値が得られるように, 各節について褐変の濃, 淡, および白色部のそれぞれ数ヵ所を日本電色光電色差計 (ND-K 5 型) で測定した。

2. 根茎表面積

根茎各節を楕円筒と考え, 節中央付近肥大部の径, 節端矮小部付近の径および節間の長さを測定し, 第 2 種楕円積分法

$$E(\varphi, k) \equiv \int_0^\varphi \sqrt{1-k^2 \sin^2 d\varphi}$$

により近似的に求めた。

Table 1. Soil properties of experimental plot A and plot B.

	Plot-A		Plot-B	
	0~25	26~42	0~15	16~32
Depth (cm)	0~25	26~42	0~15	16~32
Gravel (%)*	0.6	0.1	0.6	11.9
Coarse sand (%)*	1.0	3.7	2.9	8.2
Fine sand (%)*	64.5	84.8	51.7	58.1
Silt (%)*	19.7	7.1	26.5	20.0
Clay (%)*	14.8	4.4	18.9	13.7
Soil texture*	SL	LS	CL	SL
pH (H <sub>2</sub> O)	6.1	6.0	6.1	6.3
CEC (me/100g)	14.2	5.4	15.9	12.9
Exchangable-Ca (mg/100g)	257	90	345	268
Mg (mg/100g)	17.8	9.8	29.6	28.4
K (mg/100g)	37.9	10.0	15.0	9.3
Mn (mg/100g)	5.0	4.6	8.0	1.8
Ca-saturation	70	65	84	82
N/10 HCl soluble-				
Mg (ppm)	49.3	27.5	9.8	102.5
Zn (ppm)	7.5	1.0	3.6	1.7
Cu (ppm)	12.2	4.4	11.1	8.6
Fe (ppm)	1175	400	1075	550

\*ISSS method

3. 根茎の鉄, マンガン

根茎を乾式灰化し, 6N 塩酸で溶出後常法により原子吸光法で測定した。

4. 褐変物質の無機元素の分析

根茎の褐変状態を標準 (No. 1), 濃 (No. 2), 淡 (No. 3) および斑点 (No. 4) の 4 段階に分画し, 各々の褐変物質を毛筆を用いて注意深く剥ぎ採り, 真空乾燥後蛍光 X 線用サンプル調整器で加圧整形し, 管球 W, 分光結晶 FL を使用し, 蛍光 X 線分析装置 (日本電子 SX-60 S4 型) で測定した。

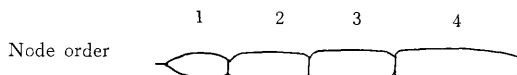
結果

1. 根茎の色調 (褐変)

根茎表面の色調は明度 L 値と彩度 a, b 値のベクトル総和で理解されるが, 概して褐変の程度は L 値が低く, a, b 値が高いほど進行している。

Table 2. Color of lotus rhizome.

Node order	1		2		3		4		Average		
Expt. plot	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B	
Color {	L	43.9	56.5	41.7	54.8	41.5	50.0	38.5	47.3	41.4	52.3
	a	3.6	0.0	4.9	1.5	5.5	2.5	10.0	2.6	6.1	1.7
	b	10.7	15.2	14.7	16.1	14.0	15.2	15.3	14.1	13.7	15.2



Each value represents a 3-yr mean (late-Oct.)

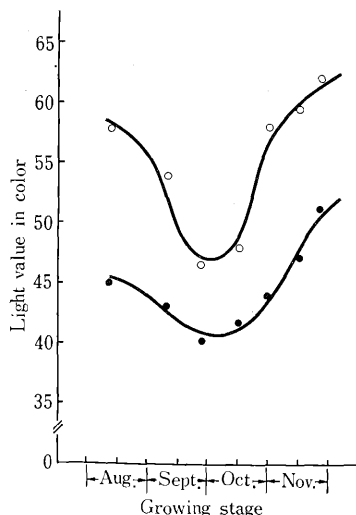


Fig. 1. Seasonal changes of light value (in color) of lotus rhizome.

●-● Experimental plot A  
○-○ Experimental plot B

根茎の色調は同一試験区の試料でも節位によって著しく異なる。第2表には褐変のもっとも多い9月下旬の試料について測定した節位別の色調をあげた。本表が示すように両試験区とも第1節は明度値が高く、彩度 *a*, *b* 値が低い。すなわち、第1節がもっとも褐変が少く、後節位ほど褐変が多い状態を示している。試験区 A, B を比較した場合、平均値が示すように A 区は B 区より一層褐変していた。

多数の根茎について色調を測定すると根茎の明度値は、肉眼で観察する褐変の程度をよく表現するので、生育中における褐変の消長を *L* 値 (1~4 節平均) で第1図に示した。本図からも両試験区における褐変量のちがいが明らかで、A 区は生育初期から後期までつねに低い *L* 値で推移した。しかし、両区における季節的変動の傾向はよく類似していた。褐変消長のパターンは後述する根茎鉄含量の変化をよく反映しており、根茎鉄含量と *L* 値の間に密接な相関々係が存在することを示唆していた。

2. 根茎表面積と重量 (肥大生育)

根茎表面積の消長については A, B 両試験区の間には顕著な差がみられなかったが、A 区は B 区よりつねにわずかに大きい値を示していた。また重量の変化もほぼ表

面積のそれと同じ傾向で推移したので、根茎生育の経過を A, B 両区の表面積平均値をもって第2図に示した。

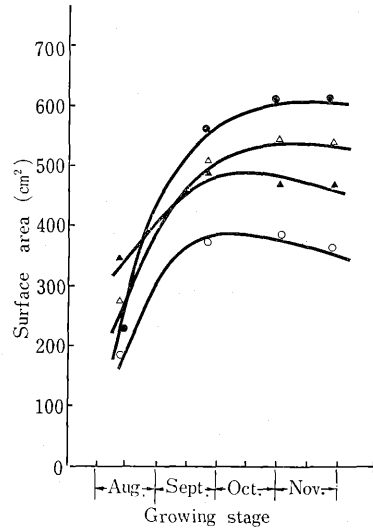


Fig. 2. Seasonal changes of surface area of lotus rhizome.

○—○ First node, ▲—▲ Second node  
△—△ Third node, ●—● Forth node

Table 3. Seasonal changes of brown substances.

Growing stage	Node order	Total amount of brown ( $\times 10^3$ ) $S^a \times (100-L^b)$		Amount of brown par unit area $\frac{S^a \times (100-L^b)}{S^a}$		Wt. par unit area $\frac{W^c}{S^a}$		Relation coefficient $r^d$	
		Plot-A	Plot-B	Plot-A	Plot-B	Plot-A	Plot-B	Plot-A	Plot-B
Mid-Aug.	1	4.84	11.71	51.33	43.11	1.11	1.08		
	2	19.42	14.40	53.51	45.00	0.73	0.79		
	3	12.39	15.38	55.39	50.51	0.40	0.56		
	1~3							-0.52	-0.45
Late-Sept.	1	17.03	20.03	54.39	50.71	1.12	1.09		
	2	23.99	25.23	57.89	54.71	1.16	1.17		
	3	28.64	29.84	54.01	53.59	1.26	1.01		
	4	35.32	31.29	59.50	54.50	0.83	0.86		
1~4							-0.59*	-0.94**	
Late-Oct.	1	9.75	8.74	52.72	39.28	1.13	1.11		
	2	15.79	15.46	56.09	40.01	1.18	1.16		
	3	24.21	17.66	58.10	39.11	1.26	1.03		
	4	37.61	20.11	55.70	40.69	0.91	0.87		
1~4							-0.55	-0.62*	
Late-Nov.	1	12.25	5.29	48.79	37.23	1.12	1.10		
	2	17.67	8.57	50.01	38.81	1.15	1.15		
	3	35.20	11.34	72.49	36.29	1.21	1.01		
	4	33.44	16.81	47.30	39.30	1.19	1.21		
1~4							-0.48	-0.58*	

*a*...Surface area (cm<sup>2</sup>), *b*...Light value (in color), *c*...Weight (g), *d*...Relationship between *L*-value and surface area,

\*...Significant at the 5%, \*\*...Significant at the 1% each level.

Each value represents a 3-yr mean.

本図が示すように根茎表面積は第1節、第2節が9月中旬に、第3節が9月下旬に、そして第4節が10月にそれぞれピークに達した。根茎の肥大生育は上位節より順次完了していくが、節毎の最終肥大量は第4節がもっとも大きく、次いで第3節、第2節、第1節の順であった。肥大完了後は各節ともわずかであるが縮小する傾向を示していた。

第2図で示した根茎肥大の生育経過を第1図の明度曲線と照合すると、根茎の旺盛な肥大期には褐変が増加し(明度低下)、肥大の緩やかな時期には褐変の進行も緩やかで、肥大完了後のわずかな縮小期には褐変が減少(明度上昇)する傾向が認められた。

このような関係を明らかにするため、第3表には根茎の肥大経過にもなる表面積と明度の相関をあげた。表が示すとおり両者の間には終始負の相関が認められ、とくに9月、10月のB区では一層明らかであった。しかし、この現象は根茎各節を平均した場合に認められた一般的な傾向であって、各節細部について観察した場合は節位によってかならずしもそうでなかった。

本表にあげた表面積  $S$  と明度  $(100-L)$  の積は、根茎表皮における褐変の総量を表わす一つの指標値と考えられる。この値は第1節でもっとも小さく、後位節ほど大きかった。なお、第1節から第4節までの合計値(表中割愛)は両試験区とも9月下旬に最大で、しかもA区がはるかに大きかった。

$(100-L) \times S/S$  の値は単位当りの褐変量を表わす指標値と考えられるが、この値は節位によってかならずしも9月下旬に最大を示さず、生育時期により、節毎の最大値が移動している。こうした褐変現象の状態は根茎生理と複雑に関連していることを示唆するようである。

$W/S$  の値はみかけの根茎充実度を表わす指標値と考えられるが、この値は生育初期の1.0以下から肥大とともに1.0に近づき、後半は1.0を超えた。根茎内部で占められる通気孔の容量(割合)によって大きく左右されるであろうが、概して褐変量は1.0以下のとき多く、1.0を超えると少い傾向が伺われた。

3. 根茎の鉄、マンガン含量

Table 4. Fe and Mn content in lotus rhizome. (mg/100g dry mat.)

Node order	1	2	3	4	Average
Fe Plot-A	58	73	111	142	96
Plot-B	12	20	28	34	24
Mn Plot-A	15	17	22	38	23
Plot-B	6	8	12	13	10

Each value represents a 3-yr mean (Late-Sept.).

根茎の鉄、マンガン含量はその節位によって、また生育時期によって著しく異なるので、第4表には節位別含量を、第5表には時期別含量をそれぞれあげた。第4表が示すように鉄、マンガン含量は、A、B 両試験区とも

Table 5. Seasonal changes of Fe and Mn content in lotus rhizome.

		(mg/100g dry mat.)			
		Mid-Aug.	Late-Sept.	Late-Oct.	Late-Nov.
Fe	Plot-A	62	96	77	50
	Plot-B	22	24	18	14
Mn	Plot-A	18	23	19	15
	Plot-B	9	10	8	6

Each value represents a 3-yr (average of 1~4 nodes).

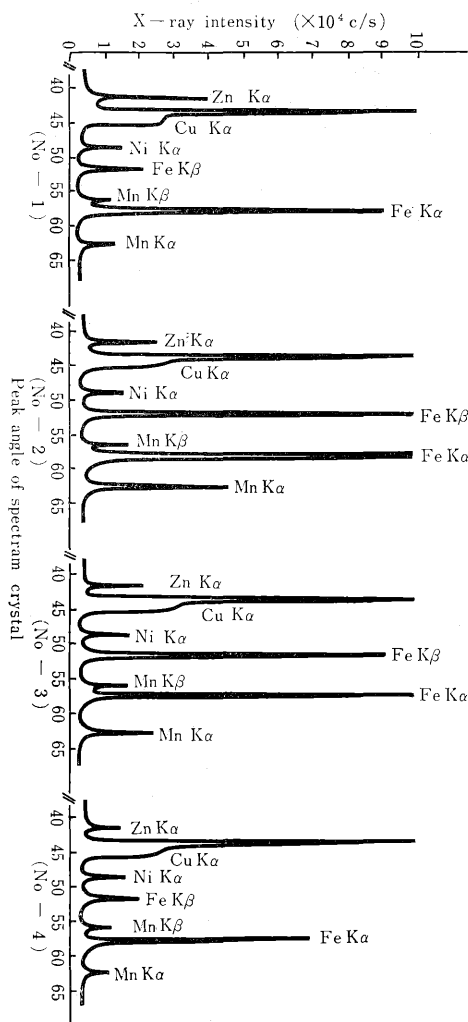


Fig. 3. Diffraction of fluorescent X-ray for brown substances.

第1節に少なく、後位節に多かった。またA区はB区に比し著しく多かった。

このように節位別含量の差は大きいですが、根茎全体としての傾向を知るために第5表には全節の平均値をもって示した。鉄、マンガンは9月下旬に最高の含量に達し、その後は減少している。これら含量の時期別変動の状態は前述第1図に示した明度曲線の褐変消長をよく反映しており、明度の低い時期には鉄、マンガンの含量が多く、明度の最低期には最高の含量を示していた。

4. 褐変物質の無機元素

蛍光 X 線による測定結果は第3図のとおりであった。試料 No. 1 は褐変の程度がもっとも標準的な場合、No. 2 は褐変が顕著、No. 3 は褐変がやや多く、No. 4 は前記試料のいずれにも共存するので参考にあげた。

各試料に共通して検出された元素は亜鉛 ( $K_{\alpha}$  1.2, 41.8°), ニッケル ( $K_{\alpha}$  1.2, 48.7°), 鉄 ( $K_{\alpha}$  1.2, 57.4°,  $K_{\beta}$  51.7°), マンガン ( $K_{\alpha}$  1.2, 63.0°,  $K_{\beta}$  56.7°), 銅 ( $K_{\alpha}$  1.2, 45.0°) の5元素であった。この場合、銅は判別し難いが W ピークの側面テーリングに読みとれた。検出できたこれら各元素の含量はそれぞれの検出 X 線強度から鉄、マンガンは試料 No. 2 にもっとも多く、次いで No. 3, 1, 4 の順であった。ニッケル、銅については試料間の差が認められずほぼ等量と判断された。なお、本図が示すように、鉄、マンガンの含量は肉眼による褐変の程度とよく一致しており、褐変はこれ等元素の含量と高い正相関を示すものと想定された。しかし、他の検出元素については不明なところが多く、さらに今後の検討が必要であろう。

考 察

褐変物質の一部を構成しているかも知れないポリフェノール成分を始め、有機成分の存在については未検討であるので、本報では無機元素について得られた結果にもとづいて考察することにする。

第3図、第4、5表で示したとおり、褐変れんこんから鉄、マンガンが多量に検出測定され、それらの含量は第1図、第2、3表で示したとおり外観による褐変の程度とよく符合して確認された。これらの諸結果から、褐変物質は主として鉄、マンガンの2元素によって構成されるものと考えられた。鉄については塩田(5)、高瀬(6)等が褐変れんこんから検出し確認しているの、それらの報告ともよく一致する。

一方、褐変物質は塩酸を始め、酢酸、くえん酸等の有機酸稀釈溶液でも溶出し、フェロシアンカリでベルリン青を呈する。また、亜硫酸塩類、アスコルビン酸等の還元溶液で還元される。水稻根の褐変物質は水酸化第2鉄

であると報告(4,8,9)されているが、れんこん表皮の鉄、マンガンはこれら定性的性質からみて、水稻根のそれに類似する化合物であろうと推定される。しかし、鉄、マンガン以外の検出元素については明らかでない。

第4、5表にあげた鉄、マンガン含量は根茎組織全量を分析して得られた結果である。両元素ともA区がB区に比し含量が多く、A区では鉄が100mg/100g dry mat を超えることもあった。多くの場合、根茎の明度が40以下になると根茎の内部組織が褐色を帯び肉眼でも色調の変化を認めることができた。

第1図および第3、4表で示したとおり、褐変は地上部の枯死後、節位によって若干様子を異にするけれども、概して地上部の生育中は根茎がつねに先端に近い節ほど少なく、後位節ほど多い状態で推移した。水稻根では活力の劣えた古い根、または根毛先端を遠ざかる太い根ほど鉄の酸化被膜が多いと報告(8,9)されているが、れんこんの根茎節位別で異なる褐変状態の現象は、水稻根の根系で観察された被膜生成の状態とよく似ている。しかし、れんこんを節毎に詳しく観察すると節内における褐変は、節先端の生長点方向に発達し、基部方向には比較



Fig. 4. Scheme of brown situation in lotus rhizome.

White portion : Light value 50~60

Fe content 5~50mg/100 g dry mat.

Brown portion : Light value 30~40

Fe content 80~120mg/100 g dry mat.

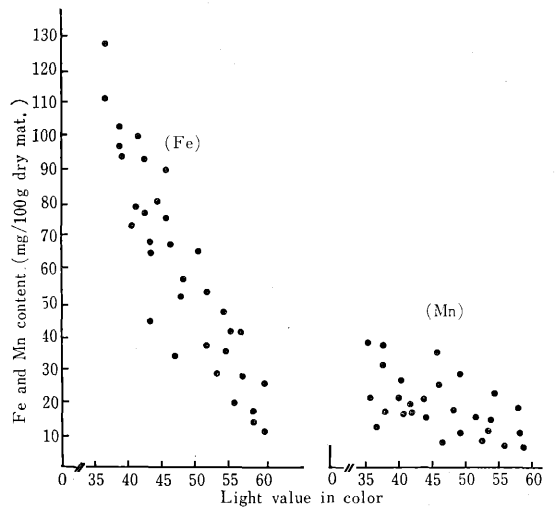


Fig. 5. Relationship between L-value and Fe, Mn content.

Fe... $y = -4.024x + 255.881, r = -0.916^{***}$

Mn... $y = -0.650x + 49.239, r = -0.573^{***}$

的発達していない。このように褐変の生成が根茎の節別では先端位ほど少ないにもかかわらず、同一節内では生長点方向に発達し、褐変分布は節別における方向性と節内における方向性とが相反する状態にある。このことは根茎における褐変生成の要因解明に見逃すことのできない現象であると考えられるので、その状態を模式的に表現し第4図に示した。

任意試料の明度と鉄およびマンガン含量を求めると、明度と含量の間に第5図に示すごとく負の相関が成立することがわかった。マンガンについては鉄ほど明らかでないが、その相関を無視できなかった。本図で知るように、明度は根茎の含有鉄、マンガンを正確に反映するので以下明度によって得られた褐変の消長を考察する。

第1図と2図で述べたとおり、明度は根茎の肥大生育にともなって低下し、最高肥大時付近で最低に達した。その後地上部が枯死すると根茎の明度は徐々に上昇し、褐変の多いA試料でもついに50以上に達した。根茎が旺盛な肥大生育をする時期は気温、地温が上昇し、日照量も多く地上部の光合成作用は活発である。したがって、合成物質の転流と同時に通気孔を経て多量の酸素(分子状)あるいは単純な酸素化合物が根茎へ供給されているであろう。一方、土壌中では有機物を分解する微生物の働きが活発で、酸素が消費され土壌全体の反応は還元状態に進行している。こうした条件下で根茎周辺の局部では酸化条件が相対的に還元条件をしるぎ、第1図に示されるごとく褐変が生成されていくものと思われる。水稲根ではその生育中に根毛先端部分に酸化被膜の形成が認められていない。れんこんでは、もっとも生育の旺盛な8月においても根茎の先端節位に褐変の生成が十分に認められるということは、この時期はもちろんのこと、その生育中に地上部から供給される酸化的要因が極めて強力な条件になっているにちがいないと思われる。10月初旬、地上部茎葉が枯死するとこれまで供給されていた酸化的要因(酸化促進物質)が断たれるため、根茎周辺の酸化条件が弱まり、土壌の還元が徐々に根茎周辺におよび、ついに既成の酸化物質は還元状態の中で溶出(褐変消失)し、第1図における後半で見られるように根茎の明度が次第に上昇していくものと推考される。

本実験におけるA、Bの両試験区では褐変量に明らかな差が認められた。第1表の土壌断面調査結果、および根茎の生育経過については既述のとおりであって、両区において特筆するほどの違いを認めることができなかった。しかし、両試験区の基本的な違いは有機物堆きゅう肥の施用有無であった。堆きゅう肥(B区)が土壌の還元を促進し、その結果褐変の生成を軽減し、しかも褐変

の消失を促していることは、ほぼ間違いないものと考えられる。その故、堆きゅう肥の施用は褐変の防止方法を検討する上で大切な現象を示唆していると思う。

本報では褐変の消長をあげるにとどめたが、その生成、消失に関与する酸化、還元の影響については、若干の推論を加えたとおりに極めて重要なことであると思われるので、今後の実験によって明らかにしたい。

## 摘 要

れんこん根茎の表皮に生成する褐変物質の生育中における消長と褐変物質の構成無機元素を明らかにした。

1. 褐変物質は根茎の肥大とともに増加し、地上部茎葉の枯死後減少した。褐変現象の消長は酸化、還元条件によって左右されるものと思われる。

2. 褐変物質は根茎の第1節、2節に比較的少なく、第3節、4節に多かった。また褐変物質の付着状態は、根茎の節別付着量の順位方向と、各節内における付着部位の方向が相反する方向性をもって分布していた。

3. 褐変物質の主要構成無機元素は鉄で、ほかに少量のマンガンもつねに共存することが判明した。

4. 根茎表皮の明度は褐変の程度をよく表現し、鉄、マンガン含量と負の相関関係を示した。

5. 堆きゅう肥は褐変現象を抑え、褐変の消長に重要な役割を演ずるものと推考された。

謝 辞 本研究を行なうに当り種々ご助言を戴いた山口大学農学部教授・東俊雄博士に深く感謝の意を表する。

## 引用文献

1. 馬場 赳. 1956. 水稲の根腐抵抗性・農業技術. 11(13): 539—543.
2. 原田登五郎. 1950. 老朽化水田とその改良・農及園. 35(1): 43—48.
3. 三井進午. 1949. 水稲の秋落の本質とその改良. 農及園. 24(3): 173—176.
4. 長井 保・俣野敏子. 1959. 根の特性からみた栽培稲品種Ⅲ. 根の鉄被膜量について. 日作紀. 28(1): 4—6.
5. 塩田芳之・佐々木詰哉. 1963. レンコンの加工に関する研究. 徳島県食工試研究報告. 11(1): 31—35.
6. 高瀬尚明・井戸 豊. 1971. レンコンにおけるすじ状褐変物質の組織化学的検出. 愛知農試研究報告B(園芸). 3: 107—108.
7. 上田弘美・西尾一雄・衣笠義人. 1973. レンコン導入に適する土壌条件. 中国農研. 46: 64—65.
8. 山田 登・猪山純一郎. 1955. 作物の根の生理と機能I根の酸化力と還元力. 農及園. 30(10): 1283—1287.
9. ———・太田保夫. 1958. 作物の呼吸作用に関する研究7. 水稲根による二価鉄の酵素的酸化. 日作紀. 26: 205—211.