根の特性からみた栽培稲品種

VI. 鉄被膜形成と三要素吸収*

長 井 保・保 野 敏 子

(京都大学農学部)

前報 (1959 a, b) において株当および単位表面積当鉄被膜量は生育とともに増大し、出穂期前後に最高に達し、その後減少した。この変化を根の Relative growth rate の変化と対照すると、逆の関係にあつた。このことは根の鉄被膜量が増大するのは根の活力の減退と伴うことがうかがわれた。また株当および単位表面積当鉄被膜量は、根の生育量の大きいものに多いことがわかつた。すなわち根の発達の大いものに鉄被膜形成も大きいことが予想された。さらに根を人為的に老化させる (地上部切除、部分切除、地下部無通気、高温栽培) と、鉄被膜形成が大となることがわかつた。

以上の事実は根の老化に伴つて鉄被膜形成が大となるということと、根の発達が大きい時にも大であるという、一見矛盾する二つの面をもつように見える。しかし正常な土壌条件 (還元、低地温等を除く) では根群の発達は老化を伴い、根の発達に伴う表面積の増大は、土壌中の鉄の単純な物理的吸着を大きくする結果になるものと考えてよいだろうか。

なお品種の根の Cation exchange capacity (C. E. C.) を測定した結果、その値は鉄被膜量と相関があることがわかつた。C. E. C. の値は Cation の置換→吸着のチャンスの大きさを示すものとすれば、これと鉄被膜形成との相関は、鉄被膜形成が要素吸収となんらかの関係があることを予想させる。

以上の結果から Anion, Cation を含む三要素吸収と鉄被膜形成が関係があることが予想され、この点を明らかにし、かつ鉄被膜形成の生理的役割を解明する一段階として本研究を行った。

実験：供試品種は農林 1, 同 37, 同 41, 同 69 号の 4 品種。京大附属農場の水田 (土壌は砂壤土でむしろ排水はよい) に直播した (一株一個体、間隔は 30×15 cm)。直播したのは移植によつて鉄被膜形成の推移が不自然になることを避けるためである。

播種後大体 15 日おきに株をていねいに掘取り、収穫期の採取は各品種の黄熟期に行つた。地上、地下部の生育調査、および N, P, K それぞれの含量を分析を行つて決定した。なお地下部については鉄被膜の量を決定した。測定は各品種一回の試料に対して各部位各要素につき 3 回の分析を反覆した。測定法は N : セミマイクロ・キエルダール法, P : Truog-Meyer 比色法, K : 炎光分析法, Fe : Ortho-Phenanthroline 法であつた。

実験結果とその考察

実験結果は第 1 表に示す。株当鉄吸着量、三要素含量 (地上、地下部ともに)、株乾重の生育に伴う変化は第 1 図に示す。これらの値は生育に伴つてほぼ平行的推移を示した。しかし鉄被膜量は出穂期頃以後低下を示した。これは根の腐敗、脱落、鉄被膜の脱落—出穂前後の植物体および土壌の還元状態によるものか? —等によるものと考ええる。

第 1 図では鉄被膜量と三要素合計量が平行的推移を示すが、各要素との関係も同様で、全品種を通じて鉄吸着量の大きい時期には要素含量も大きいことがわかつた。

これらのことは要するに時間の経過、生育の増大とともに、根の発達によつて表面積が増大し、これとともに鉄吸着量が増し、かつ要素の含量も増大していることを説明するだけである。これは時間の経過、生育の増大に伴う随伴現象としか考えられないが、果してそうなのであろうか。だから鉄吸着と要素吸収および生育との間に関係があることを知るには、時間、生育の両要因を除去すればよいことになる。

まず時間の要因を除いて考えると、株当鉄被膜吸着速度、要素吸収速度、株当乾重増加速度 (第 2 表 1, 2, 3 式) の変化をみればよい。すなわち各測定時期間における単位時間の鉄吸着量、要素吸収量、乾物増加量を比較する (第 2 図)。その結果、生育を通じてどの時期でも、単位時間に株の根に吸着される鉄の量と、株全体に吸収される要素の量は無関係であるとはいえない。

さらに生育量の大小という要因を除去するために、鉄吸着および三要素吸収の Relative rate と株当乾重の Relative growth rate を計算した (第 2 表 4, 5, 6 式による)。これは単位時間に示す各増量がその期間の始めの根の面積または株の生育量によつて支配されたと考えたことによるものである。第 3 図から鉄吸着、要素吸収と生育の Relative rate は生育を通じて平行的であつたことがわかる。なお鉄吸着と各要素の吸収の Relative rate の相関も第 4 図が示すように密接である。これらのことから鉄吸着は要素吸収と無関係ではなく、両者は平行して増大していることを知つた。

前報で述べたように、鉄被膜形成は根と土壌との界面において、 Fe^{++} が根によつて酸化されて Fe^{+++} となり、これが根の Exchangeable spots において置換、吸着されて起るものと考ええる。なお要素吸収も各

* 昭和 35 年 10 月 15 日 第 128 回講演会に於て発表

Tab. 1. Changes of each quantity estimated according to the growth advance.

Vars.	Date	Dry weights of plants	Contents of elements per plant			Ferrous coatings per plant u. s. a.	
			N	P	K		
Norin 1	6-16	0.18	7.1	0.8	5.3	2.7	0.098
	6-30	2.14	74.6	9.2	55.3	68.6	0.266
	7-15	10.20	253.2	37.6	300.5	415.	0.679
	7-29	27.50	495.3	93.8	711.7	1477.	1.329
	9-8	55.96	581.9	142.6	769.7	994.	0.829
Norin 37	6-16	0.20	7.6	1.3	7.7	1.3	0.049
	6-30	2.14	71.0	10.3	73.9	79.2	0.324
	7-15	9.34	242.7	42.9	322.5	492.	0.677
	7-29	25.88	375.2	117.6	824.3	996.	0.721
	10-6	91.17	661.3	137.1	1388.5	899.	0.443
Norin 41	6-16	0.20	8.0	1.1	7.0	1.4	0.055
	6-30	2.01	71.0	10.6	69.5	65.9	0.316
	7-15	10.29	287.3	52.7	367.7	443.	0.634
	7-29	34.26	656.6	147.7	1126.6	1501.	0.935
	9-16	63.61	711.7	211.6	846.2	844.	0.709
Norin 69	6-16	0.19	7.1	0.9	5.7	3.2	0.107
	6-30	2.19	77.2	9.7	62.0	65.7	0.256
	7-15	8.39	234.8	36.3	273.3	489.	0.665
	7-29	25.25	412.2	86.6	629.3	1216.	0.809
	10-15	60.18	401.1	139.6	615.9	570.	0.386

Note: u. s. a. — unit surface area

Tab. 2. Formulae for calculations of diverse quantities.

- The increment of ferrous coatings per day
 $Fe_n - Fe_{n-1} / t_n - t_{n-1}$ (1)
- The increment of contents of elements per day
 $E_n - E_{n-1} / t_n - t_{n-1}$ (2)
- The increment of plant dry weights per day
 $W_n - W_{n-1} / t_n - t_{n-1}$ (3)
- Relative rate of ferrous adsorption (R. Ad. R.)
 $\frac{1}{A_{n-1}} \cdot \frac{Fe_n - Fe_{n-1}}{t_n - t_{n-1}}$ (4)
- Relative rate of nutritional uptake (R. Ab. R.)
 $\frac{1}{W_{n-1}} \cdot \frac{E_n - E_{n-1}}{t_n - t_{n-1}}$ (5)
- Relative rate of plant growth (R. G. R.)
 $\frac{1}{W_{n-1}} \cdot \frac{W_n - W_{n-1}}{t_n - t_{n-1}}$ (6)
- Relative rate of root growth (R. Gr. R.)
 $\frac{1}{\omega_{n-1}} \cdot \frac{\omega_n - \omega_{n-1}}{t_n - t_{n-1}}$ (7)
- Abbreviation: Fe_n —Amounts of ferrous coatings at the time of t_n
 E_n : Contents of total elements at the same time
 W_n : Plant dry weights at the same time
 A_{n-1} : Root surface area at the time of t_{n-1}
 ω_n : Root dry weights at the time of t_n

Fig. 1. Changes of ferrous coatings, contents of elements and dry weights per plant respectively.

Note: $\triangle$ — $\triangle$ Ferrous coatings, $\bullet$ — $\bullet$ Contents of elements, $\circ$ — $\circ$ Dry weights of plant. Abscissa: days after sowing, ordinates: amounts of three quantum

種イオンが根表面において置換→吸収の経過をとる。吸着、吸収の両者が根の酸化力の大小によって規制されることを考えると、鉄吸着と要素吸収は、根の酸化力、または活力の大小という共通の因子に支配されていることがわかる。この推定をこの実験結果はよく暗示しているといえよう。

さらに $Fe = A \times \int f$ の関係が言える。すなわちある測定時の株当鉄被膜量はその時の根の全表面積に支配され、かつその時まで根が行った生理的および物理的な力によることを示す。この式から $Fe/A = \int f$ (単位表面積当りの鉄被膜量はその時までの根および外部からの仕事の大きさを示す) がえられ、また $1/Fe/A = 1/\int f = a$ となり、単位表面積当り鉄被膜量の逆数の値は、 $\int f$ が生育とともに大きくなると、小となること

がわかる。すなわち生育とともに根の活力が小となるこの $1/Fe/A$ の値も小となる。だからこの値は根の活力を示す指標となりうる。第5図が示すように、この逆数の減少は根の R. G. R. の減退と平行的であることからいえよう。

以上述べたことから、鉄被膜形成は根の活力と、ひいては植物全体の生理と関係が深いことがわかったが、この値は植物の活力診断に役立つものであろう。

本実験は正常な土壌条件下で行なわれたものであるが、異常土壌条件下での問題は今後の報告にまかしたい。

引用文献

- 1) 長井・俣野: 日作紀 28, 4 (1959)
- 2) 長井・俣野: 日作紀 28, 208 (1959)

Fig. 2. Changes of the increments of the three quantum per day

Fig. 3. Changes of the relative rates of the three quantum

Note : $\triangle$ — $\triangle$ R. Ad. R. —Relative Adsorption Rate, $\circ$ — $\circ$ R. G. R. — Relative Growth Rate,
 $\bullet$ — $\bullet$ R. Ab. R. —Relative Absorption Rate

Fig. 4. Correlations between the relative rates of the ferrous adsorption and the nutritional uptake. Note : abscisa — Relative Absorption rate
 ordinate — Relative Adsorption rate

Fig. 5. Changes of the relative rate of root weights and the reciprocals of ferrous coatings per unit surface area.

Note : $\triangle$ — $\triangle$ The reciprocals of ferrous coatings per unit surface area,
 $\circ$ — $\circ$ Relative growth rate of dry root weights

Cultivated Rice Varieties viewed from Root Characters

(VI) Formation of ferreous coatings and nutritional absorption in roots.

Tamotsu NAGAI and Toshiko MATANO

(Faculty of Agriculture, Kyoto University)

Summary

As is reported in the previous papers (1959 a & b), amounts of ferreous coatings in rice roots, both per plant and per unit surface area, increased up to the period of heading, having kept pace with the growth advance. In contrast to those changes, the relative growth rate of root weights dropped progressively. Amounts of ferreous coatings were also larger in those plants of which the root development was vigorous. Moreover, when roots were forced to age artificially, they produced much more coatings. In addition to these results, from the authors' determinations of the cation exchange capacity of roots of several varieties, it was made clear that the capacity was almost proportional to the amounts of ferreous coatings. If the values of the capacity indicate the exchangeability of cations on root surface and the possibility of the absorption of those ions by roots, it may be suggested that the ferreous coating formation must be related to the nutritional uptake, including both anions and cations. In this investigation the authors tried to decide the relation mentioned above and to clarify the physiological significance for the ferreous coatings.

Those varieties such as Norin 1, 41, 37 and 69 were planted without transplanting in paddy field of which soil is of sandy loam and of good drainage. Sampling was done every 15 days after planting, but at the harvest time it was conducted at the yellow maturation stage of each variety. In all samples the plant growth and contents of N, P and K were analysed and estimated in both top and underground parts. In the underground part, the ferreous coatings were quantitatively determined.

Main results and some discussions concerned were as follows. 1) In each variety, ferreous coatings, total contents of the three elements and dry weights, respectively per plant, went upwards hand in hand as the growth advanced, until the period of heading (Fig. 1). Moreover throughout all stages of the growth and among all varieties used, the amounts of coatings were nearly proportional to the content of each element. These facts might be, however, interpreted as the accidental phenomena accompanying with the growth processes. Both factors such as the time and growth which affect the phenomena, must be therefore eliminated from those data obtained, in order to make clear the relations among them. 2) The time factor can be removed by calculating those quantities per unit time, with such formulae as shown in Tab. 2. Fig. 2 shows the parallel relations among those per unit time. 3) This holds also for the elimination of the growth factor by calculating the relative rates of those quantities respectively. Formulae used for the calculations are also shown in Table 2. These relative rates changed quite parallelly during the course of the growth (Fig. 3). Moreover the positive correlations between the rate of the coating formation and that of the absorption of each element were found (Fig. 4). Thus the authors came to a conclusion that the ferreous coating formation was in a close connection with the nutritional uptake and the plant growth. The ferreous coating formation may originate first from the oxidation of ferrous ions by roots at the interspace between roots and soils. Then the ferric ions may be exchanged and adsorbed on root surface to produce the coatings. The nutritional absorption may also be enhanced by the surface exchange and the oxidation in roots. Thus there may be some theoretical coincidence which justifies the experimental results. 4) Amounts of the ferreous coatings may be affected by the total root surface area at the time of the measurement and also by the integrated physiological activities favorable for the coating formation in roots. A formula such as $Fe = A \times \int f$ shows this connection. From this formula, $\frac{1}{Fe/A} = \frac{1}{\int f}$ is derived. This signifies that

the reciprocal of the amounts of coatings per unit surface area becomes smaller when summed functions in roots increases. Thus an index such as $\frac{1}{Fe/A}$ may be proposed to indicate the total activity of roots at any time of the growth. This relation was clarified by the comparison of the reciprocal with the relative growth rate of roots (Fig. 5).