

作物の根群の構造と機能に関する研究

20. イネ科作物の根系の定量的研究

山 内 章・河 野 恭 広

(名古屋大学農学部)

The Development and Function of Roots and Root System of Crop Plants

20. A Quantitative Study of Root System of Gramineous Crops

Akira YAMAUCHI and Yasuhiro KONO
(Faculty of Agriculture, Nagoya University)

緒 言

⁸⁾ 先報において、イネ科作物13種の外部形態の比較を行ない、それらを3つのグループに大別した。そしてその差異は、主根の走向角とともに、主根と側根の相対的な発達程度のちがいおよび側根のうちのT型側根とS型側根の根系表面積拡大に対する役割のちがいにもとづくものであることを、肉眼的な観察結果から推察し、さらにくわしい定量的研究の必要性を論じた。

本実験は、⁸⁾先報で得られた結果を定量的に裏付け、さらにそれらの作物の根系の構造を明らかにする目的で行なった。そのために、⁸⁾先報において分類した第1および第3グループの最も典型的な根系の外部形態的特徴をもつ作物として、前者より陸稲、後者よりトウモロコシを対象として取り出し、各根系構成要素別にその数、長さおよび直径を求めて表面積を計算した。そしてそれらを通じて、側根をとくにT型側根とS型側根に区別して注目し、それらの根系全体に占める割合を数量化し、両種の根系の構造上の特徴を明らかにしようとした。

本研究は財団法人石田科学経済研究財団の研究助成によるものであり、ここに同財団に謝意を表する。

材料および方法

⁸⁾ 先報において、根箱法によって播種後30日目に採取したトウモロコシおよび陸稲各3個体のうち、最も平均的な生長をしたと思われる1個体ずつを選び、その根系を測定材料としてFAA中に保存し、観察・測定に供した。

陸稲については、まず主根と分げつに分け、それぞれから発生している主根を基部より切離し番号を付した。それぞれの根長を測定した後、基部より1 cm ごとに切り分け、それぞれの上に発生している側根についてT型側根、S型側根に区別しつつ、実体解剖顕微鏡下で第1次側根、第2次側根、第3次側根別に長さを測定した（なお、陸稲においては、T型側根とS型側根は肉眼的に容易に区別しえた）。また直径については、分枝次元が同一の側根では直径がほぼ同一であったため、各側根をそれぞれランダムに20本ずつ採取し、それらの直径の平均値を求め、第1次側根のうちT型側根は159 μm 、S型側根は80 μm 、第2次側根、第3次側根は50 μm とした。主根の直径は実体解剖顕微鏡下で直接測定した。

トウモロコシの場合もほぼ同様にして測定した。ただT型側根とS型側根の区別は根径上必ずしも明確でなかったため、ここでは便宜上高次の分枝をしている側根をT型側根、していない側根をS型側根とした。しかし、少なくとも高次の分枝をしている側根は、必ずT型側根と同じ内部構造をとっていることがわかっており(未発表)、この区分は意味があると考えられる。また根径については、直径151 μm から770 μm までの5段階の鉄線を用意し、それを基準として根径が最も近いと判断した鉄線の直径をもってその側根の直径とした。主根の直径の測定は陸稲に準じた。

これらの測定から得られた根長および根径から、根を円柱とみなして表面積を計算した。

一方、先報⁸⁾において印画紙に焼付けた根系像から、表層から5 cmごとの土層に含まれる主根長をキルビメーターで求めた。各側根は、それが発生した主根が属する土層に含まれるものとみなし、根系の土層別分布を求めた。

結 果

本実験で得られた結果を1個体ごとにまとめて示したのが第1表である。

1. 根系全体の構造 陸稲の根系は、種子根1本、主稈から発生した不定根21本、分げつから発生した不定根7本、計29本の主根、およびそれらから発生した第1次側根11,684本、第2次側根29,207本、第3次側根1,503本、計42,394本の側根から構成されていた。そして、主根および側根の総長はそれぞれ約6.2 m, 171.6 m, 総表面積はそれぞれ13,110 mm^2 , 43,782 mm^2 におよび、全根系表面積は56,892 mm^2 となった。

これに対し、トウモロコシの根系は、種子根1本、種子不定根2本、主稈から発生した不定根14本、計17本の主根、および第1次側根3,482本、第2次側根7,245本、第3次側根893本、第4次側根8本、計11,628本の側根から構成されていた。主根および側根の総長はそれぞれ約6.1 m, 123.9 m, 総表面積はそれぞれ14,359 mm^2 , 108,338 mm^2 であり、全根系表面積は122,697 mm^2 となった。

両種を比較してみると、陸稲はトウモロコシに比べ根数が多く、主根数で約1.7倍であった。また主根1体当たりの側根数も多く(たとえば第1次側根で陸稲403本、トウモロコシ205本)、総側根数では約3.6倍多かった。しかし、トウモロコシの主根および側根は1本当たりの長さが長く、根径が大きいために、総根長で比較した場合、両種間の差は小さくなり、総表面積では主根は両種でほぼ等しくなり、側根ではトウモロコシの方が約2.5倍大きくなった。

2. 側根について 根系全表面積の中で、側根の表面積が占める割合についてみると、陸稲においては約77%、トウモロコシでは88%であり、両種とも側根の占める割合が極めて高かった。またその中で、第1次側根におけるT型側根とS型側根の寄与率をみると、S型側根の全根系に占める割合は、両種とも側根数および側根長では約1/4、表面積では1/5であった。これに対して、T型側根は、側根数では両種ともに全体の約5%であるが、そこから発生しているさらに高次の側根を加算すると、総表面積においては陸稲で約57%、トウモロコシで約69%を占めた。

各分枝次元間の比較をしてみると、側根数では両種とも第1次側根が約30%、第2次以上の側根が約70%を占めた。ただトウモロコシの方が第3次側根の占める割合が高く、さらに陸稲は第3次側根までであるが、トウモロコシは第4次側根まで分枝していた。総根長では両種とも第1次側根と第2次側根以上の割合がほぼ等しかった。また総表面積では、さらに第1次側根の占める割合が高くなり、陸稲で

約69%, トウモロコシで約60%で, 側根数の場合と逆転した。そして, トウモロコシは陸稲に比べて, 高次側根の表面積の占める割合が高かった。

Table 1. Composition of root systems of upland rice and corn.

(8)

Species	Root categories	Number			Total length			Surface area		
		Type of laterals			Type of laterals			Type of laterals		
		T	S	Total	T	S	Total	T	S	Total
Upland rice	Main	—	—	29 (—)	—	(mm)	6244 (3.5)	—	(mm ²)	13110 (23.0)
	Primary	2458 (5.8)	9226 (21.8)	11684 (27.6)	40512 (22.8)	43666 (24.5)	84178 (47.3)	19216 (33.8)	10876 (19.1)	30092 (52.9)
	Secondary	104 (0.2)	29103 (68.6)	29207 (68.8)	1660 (0.9)	80283 (45.2)	81943 (46.1)	261 (0.4)	12572 (22.1)	12833 (22.6)
	Tertiary	0 (0)	1503 (3.5)	1503 (3.5)	0 (0)	5454 (3.1)	5454 (3.1)	0 (0)	857 (1.5)	857 (1.5)
	Total of laterals	2562 (6.0)	39832 (94.0)	42394 (100.0)	42172 (23.7)	129403 (72.8)	171575 (96.5)	19476 (34.2)	24305 (42.7)	43782 (77.0)
	Whole root system			42423 (100.0)			177819 (100.0)			56892 (100.0)
Corn	Main	—	—	17 (0.1)	—	—	6136 (4.7)	—	—	14359 (11.7)
	Primary	617 (5.3)	2865 (24.6)	3482 (29.9)	39507 (30.4)	29083 (22.4)	68590 (52.7)	39817 (32.5)	25152 (20.5)	64969 (53.0)
	Secondary	255 (2.2)	6990 (60.1)	7245 (62.3)	9468 (7.3)	42480 (32.6)	51948 (39.9)	8848 (7.2)	31995 (26.1)	40843 (33.3)
	Tertiary	3 (—)	890 (7.7)	893 (7.7)	63 (0.1)	3329 (2.6)	3392 (2.6)	46 (—)	2468 (2.0)	2514 (2.0)
	Quaternary	0 (0)	8 (0.1)	8 (0.1)	0 (0)	19 (0.1)	19 (0.1)	0 (0)	12 (—)	12 (—)
	Total of laterals	875 (7.5)	10753 (92.5)	11628 (99.9)	49082 (37.8)	74911 (57.6)	123949 (95.3)	48711 (39.7)	59627 (48.6)	108338 (88.3)
	Whole root system			11645 (100.0)			130085 (100.0)			122697 (100.0)

3. 「完熟した」主根における側根の発達状態 第1表で両種の根系の差異が, とくに側根の発達程度の違いによってもたらされていることを示したが, それをさらにくわしく検討するためには, 主根長, 側根の発生状態(数・分枝)および根端生長点から側根の発生域までの距離²⁾を考慮して, ほぼ完熟したとみなされる主根を対象として比較することが必要であると考えた。そこで陸稲, トウモロコシそれぞれから最もその条件に近い主根を3本ずつ選んで(第1図), それぞれの上に発生している第1次側根の数と長さを型別に第2表に示した。

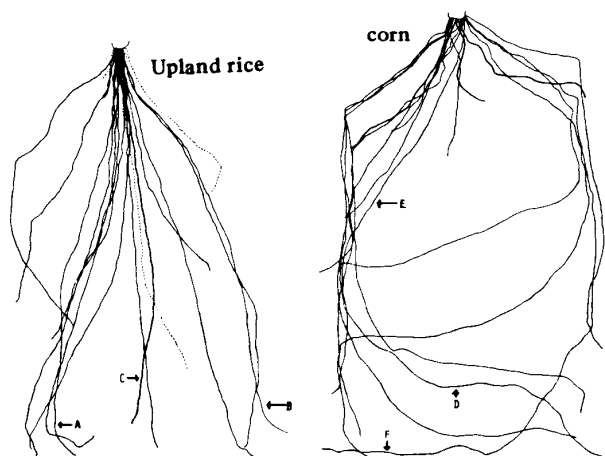


Fig.1 The root systems of upland rice and corn. These figures are the same ones as in previous paper. A, B, C, D, E and F show the main roots which have well developed lateral roots. Data of lateral roots on them are shown in Table 1 and 2.

まず側根数を両種間で比較してみると, 陸稲の方が圧倒的に多くその値はT型側根, S型側根ともにトウモロコシの約3倍であった。それに対して側根長でみると, S型側根長は両種でほぼ等しいが, T型側根長はトウモロコシの方が陸稲の約3倍長かった。その結果, 1本の主根上に発生している第1次側根の総長は両種でほぼ等しい値となった。また, 変異係数は両種ともS型側根よりT型側根で, 両種の間では陸稲よりトウモロコシでそれぞれ大きかった。

つまり, 陸稲においてはT型, S型側根ともに

比較的長さが短く、とくにS型側根はほぼ均一な長さのものが数多く主根上に分布していた。それに対してトウモロコシでは両型の側根とも比較的数字は少ないが、とくにT型側根の長さが顕著に長いものが多い特徴を示した。たとえば、20 cm以上のものは25本あり、最長のものは30 cmにまでおよんだ。

Table 2. Comparison of number and length of the primary laterals on main root axis between 10 cm and 30 cm from the base in upland rice and corn plant.

Main root*	Type	Number	Total length in mm	Average length in mm (Mean $\pm$ σ)	Variation coefficient	
Upland rice	A	T	151	4976	33.0 $\pm$ 18.3	56
		S	382	3254	8.5 $\pm$ 4.3	51
	B	T	166	4130	24.9 $\pm$ 16.8	67
		S	339	2414	7.1 $\pm$ 3.5	49
	C	T	135	4045	30.0 $\pm$ 27.7	92
		S	291	2081	7.2 $\pm$ 4.6	64
Mean	T	151	4384	29.3	72	
	S	337	2583	7.6	55	
Corn	D	T	41	3626	88.4 $\pm$ 81.3	92
		S	80	587	7.3 $\pm$ 6.0	82
	E	T	52	5270	101.4 $\pm$ 73.0	72
		S	113	894	8.1 $\pm$ 5.9	73
	F	T	50	4351	87.0 $\pm$ 86.7	99
		S	92	719	7.8 $\pm$ 6.5	83
	Mean	T	48	4416	92.3	88
		S	95	733	7.7	79

Note. * See Fig. 1.

4. 根系の土層別分布 第2図に、土壌表面から5 cmごとの土層に含まれる側根数、総側根長、総側根表面積を、第1次側根のうちT型側根およびその上に発生している高次の側根とS型側根とに分けて示した。

この土層別分布においても、主根上の分布と同様、側根数ではS型側根が多いのに対し、側根長および側根表面積ではT型側根が高い割合を占めた。とくに第1次T型側根にその上に発生しているさらに高次の側根を加算すると、全体に占める割合は極めて高く推移した。

分布パターンに注目すると、陸稲では表層から20 cm付近の土層で最もよくその根系が発達したのに対し、トウモロコシの根系は表層から深層へ3層ずつ増減を繰り返しつつ発達した。

主根の表面積は、トウモロコシにおいてはほぼ根系全体の表面積の分布と同様の傾向を示し、各層における根系の全表面積に対し約10~15%の構成比を維持しつつ分布した。一方、陸稲では主根の表面積は必ずしも根系表面積の分布と比例的関係になく、表層から深層にむけてほぼ一様に減少した。

また肉眼的に観察した限りでは、両種とも枯死した根はなく、根毛も多くの根に発生していた。

考 察

以上の結果より、これらの作物の根系はわずか1カ月の間に20~30本の主根上に膨大な数の側根を分枝し、その表面積を拡大したことが明らかとなった。さらにその拡大には側根、中でも第1次側根のうちT型側根が大きな役割を果たしていた。このことは、側根がよく発達し、生育段階の比較的進んだと考えられる根はもちろんのこと、さまざまな生育段階にある根が混在する1個体全体でも成り立ち、注目される。また、土層別分布をみても、根箱中のあらゆる土層においてやはりT型側根が根系の発達に

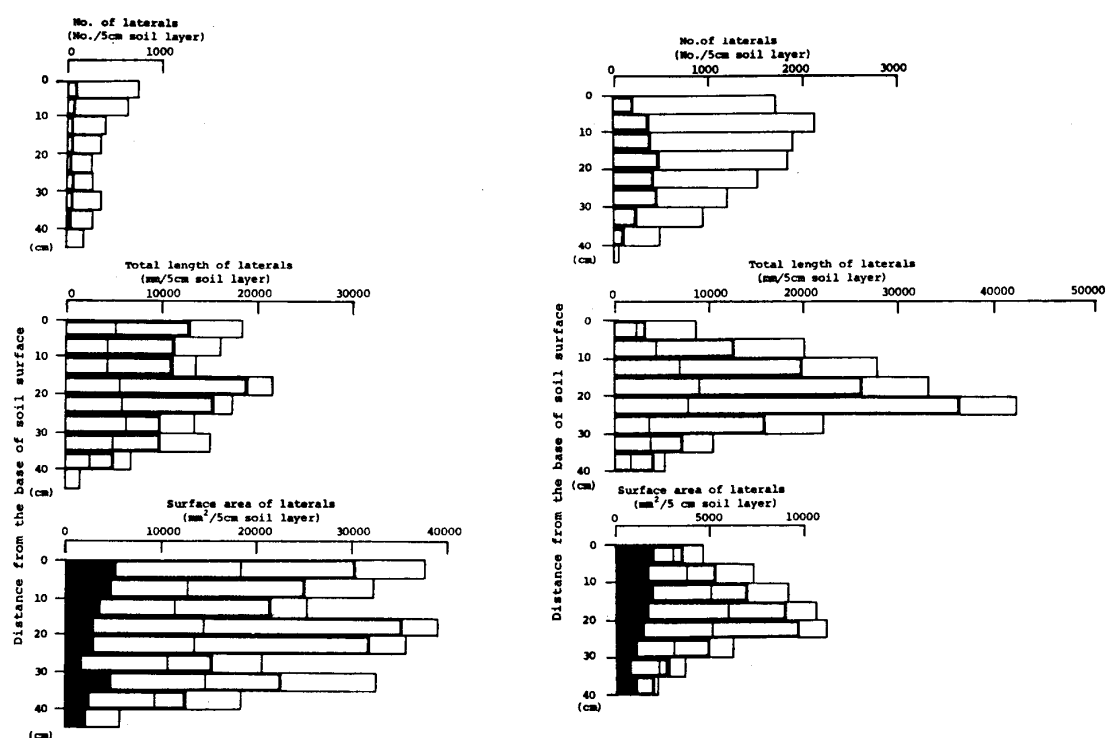


Fig.2 Distribution histogram of the root systems of upland rice(left) and corn(right) in each 5 cm soil layer.
 ■; Main root, ▨; T type of primary lateral roots(left) and laterals branched on them(right). □; S type of primary lateral roots. In no. of lateral roots only primary ones are included.

大きく貢献していた。

一方、第1次S型側根は側根数で全体の約1/4、表面積では約1/5を占めており、この役割についても根系の表面積拡大以外の役割も含め、あらたに検討が加えられるべきである。

これらの側根は、1本の主根上には不規則に分布し、長さの変異も大きいわけであるが、土層別にみれば一部に偏在することなく合理的な根系を形成していることがわかった。

しかし、ここで両種を比較した場合、次の3点において根系構造上明瞭な差異が認められた。

第1に、先報において根系の外部形態を観察し比較した結果から、主根と側根の相対的な発達程度の差異にもとづき、陸稲の根系を主根依存型根系、トウモロコシの根系を側根依存型根系と呼んだ。本実験において得られた結果によれば、主根数は陸稲で29本、トウモロコシで17本、主根表面積の全根系表面積に占める割合はそれぞれ23%、12%であり、相対的に陸稲の根系の方が主根に依存する割合が大きく、その観察結果を裏付けた（もちろん絶対的にみれば、両種ともその根系は側根が主体であることは言うまでもない）。長井らは水稻根系の定量的研究を行ない、主根数と他の根系の量的形質との関連性を検討し、結論的として、基本的には主根数によって根系の発達程度が規定されるとした。このことは、本実験で得られた傾向が生育のさらに進んだ段階において、より一層明瞭になる可能性を示している。

第2に、これまで根系表面積の拡大に対する寄与のし方は、一般にT型側根はそれ自体が長く、太いこととともにさらに高次の分枝をすることによって行ない、一方S型側根は短くて細いが、数多く発生することによってと考えられてきた。しかし先報で観察したとおり、それぞれの寄与のし方は両種で異なった。とくにT型側根において顕著な差異が認められ、トウモロコシでより重要な役割を果たしていた。

第3番目は、側根が根系の表面積を拡大する際の両種間における戦略上の相違である。陸稲においては、1本の側根は短い、数多く発生することによって、トウモロコシにおいては、数は少ないが側根

1 本当たりの長さが長く、太く、高次の側根を分枝することによってそれぞれ根系表面積の拡大に対応していた。この点が主根の走向角とともに、根系構造上の最も重要な特徴であり、外部形態によく反映している。

このように、根系の中で側根が重要な位置にあることは、これまでの研究結果が示すところである。^{1,6)}しかし本研究は、側根をT型側根とS型側根とに区別することによって、また2つの異なった外部形態の根系をもつ作物を比較することによって、根系の広がりや表面積の拡大に対する各根系構成要素の寄与の実態、すなわちそれら根系の構造上の特徴の一部を明らかにしたと考える。

今後はこうした根系の構造上の特徴がその作物の生態的特性にどのように反映しているか、あるいは逆に生態的環境が根系に与える影響を調べる必要があると考えられる。とくに土壤水分環境との関連で、⁷⁾Weaver は表層が乾燥している場合、トウモロコシの根は深く侵入し、側根の数も増える傾向があったことを報告している。本実験に供試したイネ科作物は、その耐湿性・耐旱性程度において差があることが明らかにされており、^{3,4)}これらの性質と根系の構造、側根の役割との関連性についてさらにくわしく検討される必要があろう。

引用文献

- 1) Dittmer, H. J. 1937. Am. J. Bot. 24: 417-420.
- 2) 川田信一郎・石原 愛也 1977. 日作紀 46: 228-238.
- 3) 河野 恭広・川村 則夫・巽 二郎・稲垣 憲孝 1978. 日作東海支部研究梗概83: 30-35.
- 4) —————・巽 二郎・稲垣 憲孝 1978. 日作東海支部研究梗概 83: 26-30.
- 5) 長井 保・吉田 茂政・立道 美郎 1961. 日作紀 30: 137-142.
- 6) Weaver, J. E., J. Krammer and M. Reed 1924. Ecology. 5: 26-50.
- 7) ————— 1925. Am. J. Bot. 24: 417-420.
- 8) 山内 章・河野 恭広 1980. 日作東海支部研究梗概 89: 21-29.