

画像処理によるハウレンソウの根表面積測定

誌名	日本土壌肥料学雑誌 = Journal of the science of soil and manure, Japan
ISSN	00290610
巻/号	624
掲載ページ	p. 410-416
発行年月	1991年8月

農林水産省 農林水産技術会議事務局筑波産学連携支援センター
Tsukuba Business-Academia Cooperation Support Center, Agriculture, Forestry and Fisheries Research Council
Secretariat



画像処理によるハウレンソウの根表面積測定

安田 典夫*

キーワード 土壌診断, 画像処理, 根表面積

1. 緒言

作物を安定して生産するためにはその基盤となる土壌環境を適正に維持することが重要である。このためには土壌診断を計画的に実施し、施肥や土壌改良資材の施用を的確に行うことが必要である。土壌診断におけるコンピュータ利用は三重県¹²⁾や神奈川県³⁾においてすでに実用化技術として普及しており、迅速な診断と処方せん作成に役立っている。しかし、よりの確な土壌診断を行うためには根系分布を調査し、土壌と根の関係を把握する必要がある。また土壌診断した結果が作物の生育・収量の改善に密接に反映されるためには根量調査を診断項目に加えることが不可欠と考える。

作物の根系分布に関して、水稻および陸稲における根系形成やダイズに対する養分および水分吸収に関する研究が多い^{1,2,5,11)}。これらの根系分布の調査方法は根長を直接または間接的に測定している^{5,8-10)}。現地の圃場においてはこれまで一定面積の枠などを用いて根の一部または全部を採取し、その根重を測定して作物の生育量または収量との関係を明らかにしている例が多い。しかし、この方法では太い根の重量が根の全重の大部分を占め、肥料吸収に大きな役割を果たしている細根の評価が小さくなるものと思われる。著者は前報¹³⁾で水稻の根表面積が簡易に測定できることを報告した。そこで、本研究では野菜の根の表面積をパーソナルコンピュータを用いて画像処理を行い、経時的に測定する方法を開発した。この方法は画像入力装置を用いて根の投影画像を入力し、比較的簡易に測定することができ、今後の土壌診断の一項目として活用できると考えられる。

2. 実験方法

1) 供試材料

試験に用いたポットは 1/5000 a の大きさの根箱（横

（奥行き）25×幅 8×高さ 28.5 cm）を利用⁴⁾し、その一側面には根系分布が常時観察できるように透明なアクリル板をはめた。また、根箱の底には直径 8 mm の排水孔を 2 個設け、表層腐植質黒ボク土（第 1 層）を 1 ポット当たり 4 kg 詰め、雨除けハウスで栽培した。ハウレンソウ（品種：おかめ）は 1 ポット当たり 1 株栽培し、1 カ月後に収穫した。供試土壌の化学性は第 1 表に示した。ハウレンソウの生育期間中はアクリル板の面を下にしてアルミ箔で覆い、この面に根が現れるように約 30° の傾斜をつけて栽培した。灌水は約 5 日間隔に 5 mm 程度行った。

2) 試験区

試験区の構成はハウレンソウに対する土壌改良資材の影響を調査するため、有機物、土壌の pH およびリン酸の組合せにより、L₁₆ 直交表を用いて割付を行った。因子と水準は第 2 表に示した。有機物は VS 堆肥（麦芽粕を VS 菌を用いて発酵させたもの）を 10 a 当たり 0, 2, 4, 6 t 施用の 4 水準とし、pH は苦土石灰を用いて 6.0, 6.5 の 2 水準、リン酸は熔成リン肥を 10 a 当たり 0, 200 kg 施用の 2 水準とした。

3) 根表面積の測定方法

根表面積測定のための画像処理システムは第 1 図に示したとおり、基礎データ入力、根の投影図の作成、画像ファイルの作成および根表面積の計算により構成されている。

(1) 根のサンプリングおよび試料作成方法：ハウレンソウ生育期間中の根については根箱のアクリル板に現れた面の写真撮影を行った。撮影はカラーフィルムを用いて自然光の条件下で行い、128×91 mm の大きさに焼き付けた。そして、コピー機を用いて原寸大の投影図を作成した（第 2 図）。このとき根の部分は白となり、背景の土壌は黒となる（2 値化）。

収穫後の根のサンプルは全量を採取し、流水中で洗浄を行った後、墨汁液を軽く噴霧して黒く染色した。根の表面がやや乾燥してから白い台紙上に張り付け（原板）、コピー機を用いて縮小コピーを数回繰り返し、B7 サイズ（128×91 mm）の投影図とした。

* 三重県農業技術センター（515-22 三重県一志郡嬉野町川北 530）

1990 年 11 月 29 日 受理

日本土壌肥科学雑誌 第 62 巻 第 4 号 p.410~416 (1991)

第1表 供試土壌の化学性

(乾土 100g 当たり)

pH (H ₂ O)	腐植 (%)	T-N (%)	可給態 P ₂ O ₅ (mg)	陽イオン交換容量 (meq)	交換性塩基			リン酸吸収係数
					CaO (mg)	MgO (mg)	K ₂ O (mg)	
5.03	5.43	0.25	27.6	37.7	285	40.0	55.3	1630

第2表 因子と水準 (L₁₆)

因子	記号	水準
反復	R	1, 2
有機物 ^a	A	0, 2, 4, 6 (t/10 a)
pH ^b	B	6.0, 6.5
リン酸 ^c	C	0, 200 (kg/10 a)

^a 麦芽を VS 菌で発酵させた堆肥.

^b 苦土石灰で調整.

^c 熔成リン肥.

一方、根表面積の測定精度について検討するため、直径の異なる4種類の銅線(450, 112.5, 56.3, 28.1 μm)を用いて標準試料を作成した。それぞれの銅線は白い台紙に貼り付け、根と同様に投影画像を作成して表面積を測定した。

また、葉についても同様の方法で投影図を作成し、葉面積測定用試料とした。

(2) パーソナルコンピュータによる表面積測定法：パーソナルコンピュータを用いて画像処理および表面積の測定を行った。プログラムは MS-DOS ver 3.1 を OS とし、N 88-日本語 BASIC (86) で作成した。機種は本体に NEC PC 9801 VX, 高解像カラーディスプレイ (640×400 ドット), 136 桁プリンター (PR 201 系または NM 9900 系) を使用し、画像入力装置は EPSON GT-4000 イメージスキャナを用いた。

根および葉の投影図はイメージスキャナを用いてイメージデータとして入力し、画像ファイルとした。また、ディスプレイ上では計算時間を節約するため 280×200 ドットの大きさに縮小して表示させた。このとき、写真を原稿として用いた場合は根の部分が黒の背景上に白のドットとして表される。また、根のサンプルについてはこの逆となる。そしてこの黒の1ドットを1画素として計測し、280×200 画素当たりの比率を求め、元の原板の大きさに換算してこれを投影面積とした(第3図)。

(3) 根表面積の計算方法：投影図からの根表面積の計算方法は根を円柱と仮定すれば、円柱の投影面積は $2rh$ (r :半径, h :高さ)であり、この側面積は $2\pi rh$ となり、次式を根の表面積 (A) として用いた。

$$A = 2\pi rh$$

また、葉については投影面積を葉面積として表した。

4) 生育および収量調査

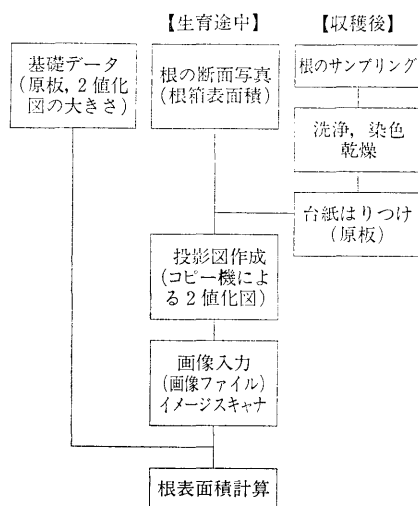
生育調査はホウレンソウの発芽後1週間ごとに草丈、葉数、葉色について測定した。収穫は発芽後1カ月後に行い、生葉重および乾物重について測定した。

5) 植物体および土壌分析

ホウレンソウの地上部を収穫した後、約 60°C で乾燥し、粉碎して分析用とした。窒素はケルダール分解セミマイクロ蒸留法、その他の成分は乾式灰化後、リンはバナドモリブデン酸による比色定量法、カリウム、カルシウムおよびマグネシウムは原子吸光法を用いてそれぞれ分析した。土壌は収穫直後に採取し、風乾後 2mm の篩を通して分析用とした。土壌の分析は pH はガラス電極法、EC は電極法、腐植、全窒素は CN コーダー法、可給態リン酸はトルオグ法、陽イオン交換容量はジョーレンベルガー法、カリウム、カルシウム、マグネシウムは原子吸光法を用いた。

3. 結果

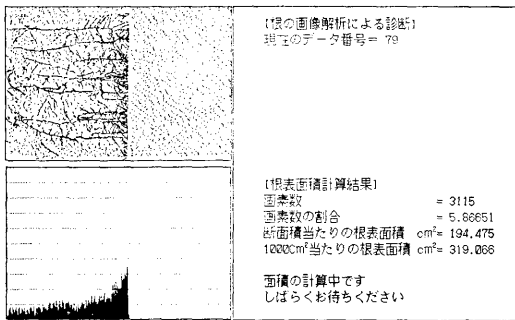
標準試料の測定と検定結果は第3表に示した。直径 450 および 112.5 μm の試料は標準値と大きな差はなく、ほぼ正確に測定できた。しかし 56 μm 以下では表面積が標準値と比べて少なく、誤差が大きかった。この原因として、この太さではコピー画像がかなり細くなり、



第1図 根の画像処理システムの構成



第2図 根箱根表面写真の投影図
収穫期撮影写真のコピー画像(約 1/10). 有機物 6 t,
pH 6.0, リン酸 200 kg 施用区.



第3図 根の投影画像および表面積の計算(ディスプレイに表示したもの)

スキャナーによる読み取りを正確に行えないためと考えられた。正確な測定は実際には 100 μm 程度までの太さの根であった。

ホウレンソウの生育・収量調査のデータについて分散

第4表 ホウレンソウの生育・収量^aと分散分析

(1株当たり)

因子	水準	草丈 (cm)	葉色 ^b	葉数	生葉重 (g)	葉乾物重 (g)	根乾物重 (g)	葉面積 (cm ²)
有機物	1	18.3	42.3	18.3	19.7	1.94	0.85	352
	2	20.3	43.8	18.3	22.5	2.22	0.84	387
	3	20.3	42.3	20.5	27.9	2.86	1.07	497
	4	21.9	43.3	18.8	32.5	3.28	1.47	563
F値		4.30	0.25	0.15	4.86	3.95	8.25	6.6
pH	1	18.9	40.9	17.8	21.8	2.16	1.01	946
	2	21.4	44.9	20.1	29.5	2.96	1.09	505
	F値		13.18*	7.11	0.73	9.03	6.27	0.60
リン酸	1	19.5	43.3	18.0	21.0	2.04	0.86	379
	2	20.8	42.5	19.9	30.3	3.07	1.25	520
	F値		3.59	0.25	0.46	13.0*	10.64*	13.72*

^a 測定値は各水準ごとの平均値で示した(以下の表同じ)。

^b 葉緑素計を用いた。

* 危険率 5% 水準で有意差。

第3表 標準試料の測定と検定

標準値	直径 (μm)	450.0	112.5	56.3	28.1
	表面積 (cm ²)	1.413	0.353	0.177	0.088
実測値	表面積 ^a (cm ²)	1.419	0.337	0.153	0.081
	標準偏差 (cm ²)	0.057	0.030	0.019	0.009
	変動係数 (%)	4.02	8.90	12.42	11.11
t_0 値		0.33	1.67	3.80**	2.56*

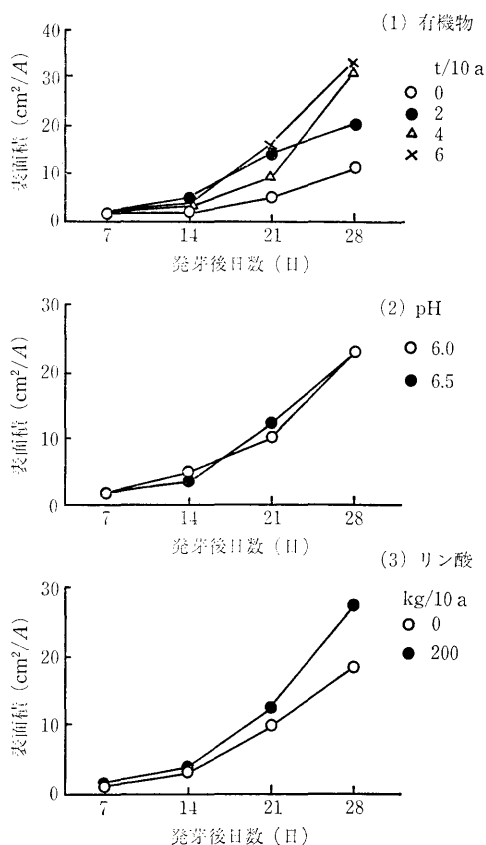
^a 実測値は 10 回測定を行った平均。

** 危険率 1% 水準, * 5% 水準で有意差。

分析を行った結果は第4表に示した。生育初期の葉色は pH の高い区が良好であったが、収穫時には差はみられなくなった。収穫時の草丈は pH 6.5 区が長くなる傾向がみられたが、生葉重、葉乾物重、葉面積および根乾物重はリン酸 200 kg 施用区のほうが多かった。また、有機物の施用はいずれも効果が認められなかった。

葉分析結果は第5表に示した。このうち、pH の効果は 6.5 区では P₂O₅ 含量が増加したが、CaO 含量は逆に低下した。一方、有機物およびリン酸施用による葉成分の増加は認められなかった。

根箱の亚克力板の面に現れた根表面積の経時的な変化は第4図に示した。表面積の推移についてみると、全体に発芽後 14 日目までは表面積の増加は少なく、21 日目を以降急速に増加した。処理区別では有機物無施用区は表面積の増加は少なかったのに対し、施用区において 21 日および 28 日目に顕著な増加が認められ、とくに、28 日目では有機物 4 t 以上の区で根表面積が 30 cm² 以上となった。pH の処理による差はほとんど認められなかった。一方、リン酸施用の影響について発芽後 21 日目では差は認められなかったが、28 日目にはリン酸施用



第4図 処理別の根箱に現れた根表面積の経時変化 A (根箱の断面積) = 625 cm².

区がやや増加した。

収穫後全量採取した根の表面積は第6表に示した。このうち、有機物施用量が2t以下では表面積は339~375 cm²の範囲であったのに対し、4t以上の区では410 cm²以上であった。pHの違いはほとんど認められなかった。また、リン酸については200 kg 施用区において表面積が増加した。

各調査項目間の相関係数は第7表に示した。根乾物重は葉数を除いて各項目とそれぞれ高い相関が認められた。根表面積とホウレンソウの生育との関係について、根箱による根表面積と生育との間にはほとんど関係が認められなかった。しかし、土壌から採取した全根表面積は草丈と $r=0.581$ 、葉乾物重と $r=0.767$ 、葉面積と $r=0.775$ 、根乾物重と $r=0.882$ のそれぞれ有意な正の相関が認められた。このことから、土壌との直接の接触面である根表面積が根重量とともに重要な項目と考えられる。一方、葉面積は草丈、葉乾物重および肥料成分吸収量と高い相関が認められた。

第5表 ホウレンソウ葉成分と分散分析 (乾物当たり)

因子	水準	N (%)	P ₂ O ₅ (%)	K ₂ O (%)	CaO (%)	MgO (%)
有機物	1	5.48	1.77	12.72	0.88	2.47
	2	6.46	1.76	12.77	0.79	2.47
	3	5.13	1.90	13.32	0.79	2.42
	4	5.01	1.82	12.45	0.76	2.42
F値		1.21	0.58	0.55	0.55	0.03
pH	1	5.59	1.62	13.08	0.88	2.31
	2	5.45	2.00	12.55	0.73	2.58
F値		0.16	19.16**	1.13	7.68*	2.75
リン酸	1	5.40	1.76	13.04	0.81	2.36
	2	5.64	1.87	11.20	0.80	2.53
F値		0.03	1.64	0.89	0.03	1.14

** 危険率 1%, * 5% 水準で有意差。

第6表 根全表面積と分散分析

水準	因子		
	有機物 (cm ²)	pH (cm ²)	リン酸 (cm ²)
1	375	397	345
2	339	419	471
3	410	—	—
4	509	—	—
F値	11.50*	1.07	34.27**

** 危険率 1%, * 5% 水準で有意差。

跡地土壌の化学性は第8表に示した。このうち腐植含量は有機物の施用による差は認められなかった。pHは苦土石灰の施用によって、ほぼ目標値に達したが、可給態 P₂O₅ については増加は認められなかった。交換性塩基のうち CaO および MgO については苦土石灰施用による増加が認められた。

4. 考 察

根に関して根系調査や根活性調査が多く行われている。根系については、根重、根長、表面積、根数などが指標として用いられ、根活性は α -ナフチルアミン酸化力や TTC 還元力による測定や放射化分析による根活力分布検診⁹⁾が行われている。土壌診断を的確に行うためにはこれまでの土壌分析だけに頼ることなく、このような手法を利用して根系構造を調査し、診断項目として活用することが重要である。

根長または表面積の計算方法について NEWMAN⁹⁾ はメッシュの交点から根長を推定する式を提唱し、荻住⁹⁾は樹木の根長および根系表面積について、根長は根重に対する根の容積密度数×根の平均直径の2乗の比から、根表面積は根長×根の平均直径にそれぞれ円周率を乗じ

第 7 表 調査項目間の相関係数 (n=16)

項目	ハウレンソウの生育				成分吸収量 ^a					根		
	草丈 (1)	葉数 (2)	葉乾物重 (3)	葉面積 (4)	N (5)	P ₂ O ₅ (6)	K ₂ O (7)	CaO (8)	MgO (9)	乾物重 (10)	表面積 ^b (11)	全表面積 (12)
1	—	0.458	0.870**	0.871**	0.867**	0.869**	0.840**	0.771**	0.829**	0.720**	0.381	0.581*
2		—	0.631**	0.689**	0.513**	0.659**	0.598*	0.631**	0.658**	0.407	0.038	0.487
3			—	0.976**	0.917**	0.966**	0.968**	0.918**	0.942**	0.863**	0.443	0.767**
4				—	0.904**	0.956**	0.922**	0.930**	0.936**	0.856**	0.442	0.775**
5					—	0.895**	0.873**	0.894**	0.887**	0.778**	0.360	0.704**
6						—	0.924**	0.829**	0.945**	0.742**	0.461	0.688**
7							—	0.866**	0.847**	0.834**	0.409	0.763**
8								—	0.862**	0.884**	0.311	0.763**
9									—	0.738**	0.436	0.611*
10										—	0.357	0.882**
11											—	0.246

^a 1 株 (乾物) 当たり吸収量.

^b 収穫期における根箱による根の表面積.

** 危険率 1%, * 5% 水準で有意差.

第 8 表 ハウレンソウ跡地土壌の化学性と分散分析

(乾土 100 g 当たり)

因子	水準	pH (H ₂ O)	腐植 (%)	T-N (%)	可給態 P ₂ O ₅ (mg)	陽イオン交換容量 (meq)	交換性塩基		
							CaO (mg)	MgO (mg)	K ₂ O (mg)
有機物	1	6.13	5.52	0.25	23.8	37.7	444	68.0	55.3
	2	6.05	5.31	0.24	24.8	43.4	467	71.2	58.0
	3	6.06	5.56	0.24	24.8	35.8	458	75.8	67.1
	4	6.19	5.86	0.26	25.0	31.5	475	76.0	63.7
F 値		1.38	2.57	3.67	0.48	36.24**	0.86	1.87	3.92
pH	1	5.66	5.55	0.25	28.4	35.7	285	41.0	66.1
	2	6.55	5.57	0.25	20.8	37.2	637	104.5	55.9
	F 値	281.7**	0.01	0.04	90.8**	5.46	584.5**	501.1**	14.31*
リン酸	1	6.04	5.64	0.25	24.4	35.7	446	74.9	61.0
	2	6.18	5.48	0.24	24.8	37.2	476	74.3	61.0
	F 値	6.65	1.30	1.00	0.22	5.28	4.15	1.19	0.00

** 危険率 1%, * 5% 水準で有意差.

て推定している. しかしながら, 根の調査は多くの場合, サンプルングや測定に多くの時間を要し, 根の測定は一部分に限られる.

そこで, 本研究では根表面積を簡易に測定する方法として, 根箱の土壌断面に現れた根の表面写真から投影画像を作成してコンピュータで画像処理する方法を開発した. この方法では根を直接採取することなく測定できるため, 同一の株について根系発達の過程が連続的に数量化することができる. また, 根重測定のためのサンプルングによる植物体の損傷の影響もなくなる. 一方, 根系はイメージデータとして保存されるため, 必要に応じて検索や分布状況の解析を行うことができる. また, これらの画像処理にあたっては専用の画像解析装置は不用であり, 比較的低価格の機器で測定を行うことが利点

である.

測定精度について, 村上ら⁸⁾は画像解析法を利用して根長の測定を行い, 直径 16 μm 程度の根まで測定できたとしている. 本法では表面積を正確に測定できる根の直径は 100 μm 程度までであった. これは根の投影画像がコピー機を用いており, 細かい根が不鮮明になることや, 画像入力装置の読取り精度不足によるためと思われる. 根の肥料成分吸収に関しては根毛など非常に細かい根の表面積の寄与が大きいと考えられるが, 投影画像をある程度拡大することによって正確な測定が可能と思われる.

一方, 土壌から採取した根の表面積を測定する場合には, 上記と同様の方法で投影画像を作成して表面積が測定できる. このとき, ハウレンソウの根表面積と葉面積

との間には正の相関がみられたところから、根の伸長と地上部の生育とは密接な関係があることを示している。

作物の根表面積について、川島⁵⁾は水稻の出穂期においては株当たり 39,000 cm² になると推定している。YAMAUCHI ら¹¹⁾は陸稲について根系全体の表面積は 540 cm²、トウモロコシでは 122 cm² に及んだとしている。KONO ら⁷⁾は根箱を用いてダイズに対する土壌水分の影響について、上層に灌水した場合は上層に根が密、下層に粗となり、下層に灌水した場合はこの逆であったとしている。植物の土壌養分からの吸収に関して BRAY¹⁾は根系吸着帯と根表面の吸着帯が大きな役割を果たしていると述べている。ラッセル¹⁴⁾は養分の吸収と移行に関して、根の表面積は最も関係の深いパラメータと考えている。このように作物の肥料吸収または水分吸収について根表面積を測定して解析する意義は大きい。

今回のハウレンソウの根箱栽培試験では根表面積は 196~661 cm² の測定結果が得られ、有機物およびリン酸の施用によりハウレンソウの生育が良好となり、根表面積も増加した。また、試験では根箱による根の表面積と全根表面積とは直接相関が認められなかった。この原因として、生育後期において根が根箱の底に蔓延したため処理区間の差がなくなり、相関係数が低下したと考えられる。また、コピー機による 2 値化またはスキャナー入力過程での誤差や精度にも関係していると考えられる。しかしながら、この根箱による根の表面積は全根表面積の分散分析の結果と傾向がよく似ており、生育途中においても土壌処理の影響を判定することが可能と思われる。このことから、根の測定時期の検討やスキャナー入力方法を改良すれば、より精度の高い測定が可能になり、土壌改良資材や施肥の効果を確認するために圃場において作物の栽培された株元など地下部に透明なガラス板やアクリル板を当てて観測窓を設け、根系発達の過程を観測することができる。

以上のことから、根表面積は比較的簡易に測定できることから、土壌診断においても表面積が診断の一項目として加えることが有効であり、圃場の土壌改良や水管理を行うための手法として期待される。

5. 要 約

根の表面積をパーソナルコンピュータを用いて画像処理を行い、直接測定する方法を開発した。

- 1) 根箱を用いてハウレンソウを栽培し、根箱の観察面に現れた根の写真および採取した根から投影図を作成し、スキャナーを用いて入力し画像ファイルとした。
- 2) 投影図からの根表面積の計算方法は根を円柱と仮

定すれば、円柱の投影面積は $2rh$ (r :半径, h :高さ) であり、この側面積は $2\pi rh$ となり、これを根の表面積とした。また、標準試料は直径 100 μm 程度の太さまで正確に測定することが可能であった。

3) ハウレンソウを根箱を用いて栽培した結果、根箱による根の表面積は発芽後 21 日目から急速に増加した。処理区別では 4t 以上の有機物施用区において表面積が増加した。

4) ハウレンソウの収穫後、根の全表面積は有機物施用区で多く、pH の差はみられなかった。また、リン酸施用区において表面積が増加した。

5) 掘り取った根の全表面積は草丈、葉乾物重、根乾物重および葉面積とそれぞれ正の相関が認められた。

以上のことから、パーソナルコンピュータを利用した根の表面積測定が、土壌診断の一項目として有効と思われる。

謝 辞 本稿のとりまとめにあたって、ご校閲をいただいた岐阜大学教授原徹夫博士に深く感謝します。

文 献

- 1) BRAY, R. H.: A nutrient mobility of soil-plant relationships. *Soil Sci.*, **78**, 9~22 (1954)
- 2) 番場宏治・大久保隆弘: 畑作物の根系分布と収量との相互関係, 第 3 報, 畑作物, 水稻-陸稲交配種および陸稲の根系分布と根量に対する土壌水分の影響, 日作紀, **50**, 1~7 (1981)
- 3) 藤原俊六郎・鎌田春海: 土壌診断情報のシステム化に関する研究 (第 2 報), パソコン(PC-9801)による土づくり情報システムの開発, 神奈川土肥成績, **16**, 1~50 (1986)
- 4) 二見敬三: 圃場における作物の根活力分布に関する研究, 兵庫農技セ特別研報, **15**, 19~23 (1990)
- 5) 川島長治: 水稻の根系形成に関する研究, 第 3 報, 根の数, 長さ, 体積, 表面積の推移, 日作紀, **57**, 26~36 (1988)
- 6) 菊住 昇: 樹木根系図説, p. 449~466, 誠文堂新光社, 東京 (1979)
- 7) KONO, Y., TOMIDA, K., TATSUMI, J., NONOYAMA, T., YAMAUCHI, A. and KITANO, J.: Effects of soil moisture conditions on the development of root systems of soybean plants (*glycine max* MERR.). *Jpn. J. Crop Sci.*, **56**, 597~607 (1987)
- 8) 村上敏文・米山忠克: 画像解析法を利用した根長の測定, NARC 研究速報, **5**, 33~37 (1988)
- 9) NEWMAN, E. I.: Method of estimating the total length of root in a sample. *J. Appl. Ecol.*, **3**, 139~145 (1966)
- 10) TENNANT, D.: A test of a modified line intersect method of estimating root length. *J. Ecol.*, **63**, 995~1001 (1975)
- 11) YAMAUCHI, A., KONO, Y. and TATSUMI, J.: Quantitative analysis on root system structures of upland rice and maize. *Jpn. J. Crop Sci.*, **56**, 608~617 (1987)
- 12) 安田典夫: 土壌情報のシステム化に関する研究 (第 1 報), 土壌診断におけるパソコン利用, 三重農技セ研報,

- 15, 39~50 (1987)
- 13) 安田典夫・渡辺公夫：パーソナルコンピュータによる水稻根表面積の簡易測定法，土肥誌，61，196~197(1990)
- 14) ラッセル，R. S. 著，田中典幸訳：作物の根系と土壤，p. 87~120，農文協，東京（1981）

Measurement of Root Surface Area of Spinach by Image Processing

Norio YASUDA
(Mie Agric. Res. Cent.)

A method of direct measurement of root surface area was developed with image processing using a personal computer.

1) Projection charts were made from pictures of root box and samples of spinach, and the image file was made by inputting the image data using an image scanner.

2) In a method to calculate the surface area of the root from the projection chart, the root was assumed to be a column. The projection area of the column was $2rh$ (r : a half diameter; h : height) and the lateral area became, therefore, $2\pi rh$, which was regarded as the surface area of the root. Standard samples could be measured until $100\ \mu\text{m}$ in diameter accurately.

3) Spinach was cultivated using a root box. Subsequently, the surface area of the root box rapidly increased from day 21 after budding. Surface area increased at day 28 in plots amended with organic matter.

4) After harvesting, total root surface area was large in the plot amended with organic matter, but no significant difference was observed in treatment of pH. For phosphate, the root surface area increased in the plot with 200 kg per 10 a.

5) The total surface area showed correlation with the leaf length, leaf dry weight, root dry weight, or leaf area.

Key words image processing, root surface area, soil diagnosis

(Jpn. J. Soil Sci. Plant Nutr., 62, 410-416, 1991)