

氏 名(本籍) 小^お 柳^{やなぎ} 敦^{あつ} 史^し

学位の種類 博 士 (農 学)

学位記番号 農 第 5 3 7 号

学位授与年月日 平 成 7 年 12 月 14 日

学位授与の要件 学位規則第4条第2項該当

学位論文題目 コムギの根系形成における根の環境に関する研究

論文審査委員(主 査) 教 授 菅 洋

教 授 日 向 康 吉

教 授 亀 谷 壽 昭

論文内容要旨

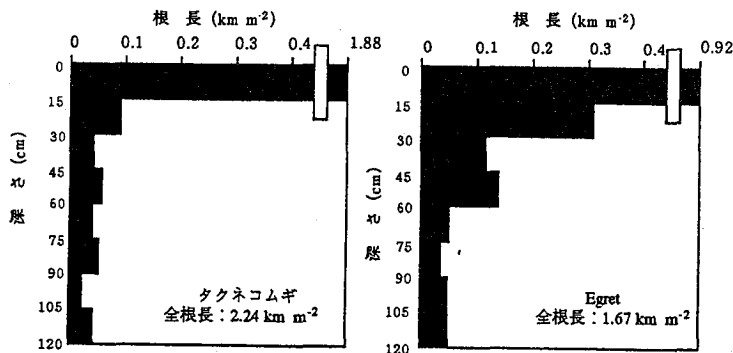
植物の地上部は茎、葉、花、果実などの機能の異なる複雑な構造を持つ器官からなるが、地下部を構成する基本的な器官は根のみである。根は植物体を土壤に固定し、地上部を支持するとともに、生長に必要な養水分を吸収して地上部に供給する。また、土壤の環境に応じて茎葉部の生長制御を行うなど植物体の環境適応に重要な役割を担っている。したがって、根はその構造の単純性にもかかわらず、固着性という植物の本質的性質を支える上で極めて重要な構造単位である。

本研究は、コムギを材料として、圃場条件における根系の品種間差異を明らかにすることから出発し、根系形成に関与すると思われる根の環境反応を研究し、さらにそれらを総合して種々の環境条件下において適応的に発達すると思われるコムギの根系の形成について解析的な研究を行ったものである。

1. 根系の発達と根の土壤内分布に及ぼす環境の影響

1) 根量と根の分布の品種間差異

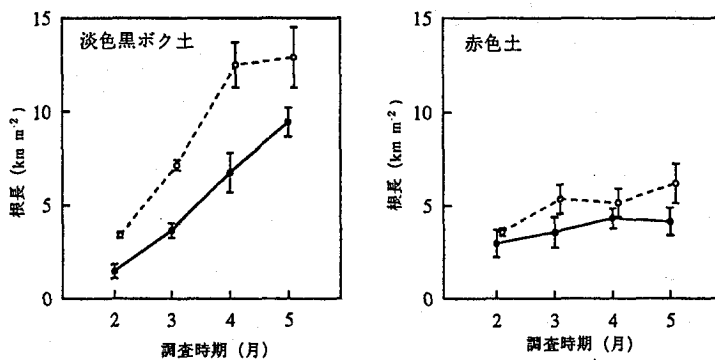
乾燥した地域の多いオーストラリアと湿潤な地域の多い日本で育成されたコムギを栽培し、子実を収穫した後に根の分布を調査した。試験区内の40 cm×40 cmの部分の深さ120 cmまでスコップで掘り、土壤を深さ15 cmづつに分けて根を洗い出し、ルートスキャナーで根長を測定した。その結果、全体の根量は日本の品種の方が多かったが深さ15 cmより深い層ではオーストラリアの品種の方が根量が多いことが明らかになった(第1図)。



第1図 日本(タクネコムギ)とオーストラリア(Egret)のコムギ品種の収穫期における深さ別の根長

2) 根系の発達に及ぼす土壌と施肥の影響

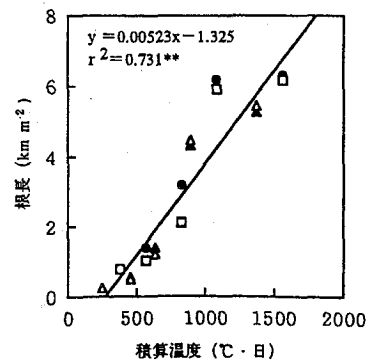
関東東海地域に分布する4種類の土壌(淡色黒ボク土, 厚層多腐植黒ボク土, 赤色土及び灰色低地土)を深さ80 cmまで充填した無底のコンクリート枠圃場(各圃場20 m×25 m)にコムギ農林61号を栽培し, 根量の推移を調査した。2月から5月に改良モノリス法で根量を調べた結果, リン酸の不足する黒ボク土では生育初期の根量が少なく, 保水力が小さく窒素が不足しやすい赤色土では春季の根量の増加が少ないことが明らかになった(第2図)。



第2図 淡色黒ボク土および赤色土におけるコムギ農林61号の根長の推移
 ●: 同一施肥区(土壌に共通の施肥を行った試験区)
 ○: 施肥改良区(リン酸と窒素を増施した試験区). 平均値±標準誤差.

3) 根系の発達に及ぼす温度の影響

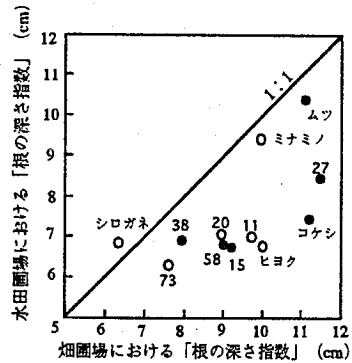
国内外のコムギ12品種の根部のみを循環型の恒温水槽により温度処理した結果, コムギの根の伸長適温は22~23℃で, 伸長適温の品種による差異は小さいことが明らかになった。また圃場においてコムギ農林61号とアサカゼコムギを秋播き栽培し, 11月から5月まで改良モノリス法で根量を調査した。その結果, 積算温度と根長の間には密接な正の相関関係が得られた(第3図)。



第3図 積算温度と根長の関係
 □: 農林61号, 早播き区, △: 農林61号, 遅播き区, ●: アサカゼコムギ, 早播き区, ▲: アサカゼコムギ, 遅播き区. **: 1%水準で有意.

4) 根の分布に及ぼす土壌水分の影響

水田圃場と畑圃場に日本のコムギ12品種を栽培し、生育の後半に改良モノリス法で根の垂直分布の調査を行った。その結果、根の平均的な深さを示す「深さ指数」は、ほとんど全ての品種で過湿な水田圃場において小さく、土壌水分が多いと根系が浅くなることが示された(第4図)。

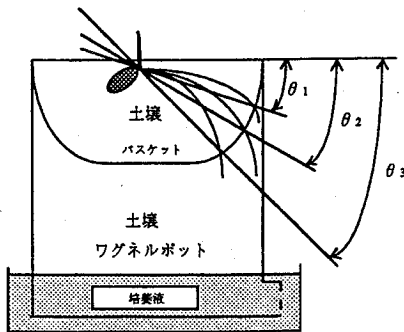


第4図 日本のコムギ12品種の畑圃場と水田圃場における「根の深さ指数」の関係
●：北日本品種、○：南日本品種。品種名は略称または農林登録番号で示す。

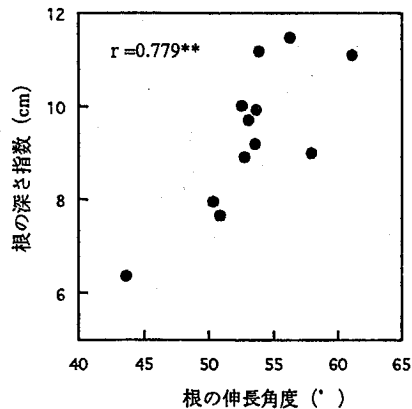
2. 根の伸長方向に及ぼす環境の影響

1) 根の伸長角度の品種間差異

根系骨格の形態を決める重要な要素の一つと考えられる一次根の伸長角度をバスケット法(第5図)で調査した。日本のコムギ12品種の種子根の伸長角度を調べ、圃場における根の垂直分布と比較した。その結果、幼植物の種子根の伸長角度と圃場における「根の深さ指数」との間には1%水準で有意な正の相関関係があることがわかった(第6図)。すなわち、圃場における根の垂直分布に関するコムギの品種特性はバスケット法による種子根の伸長角度の測定で簡便に評価することができた。



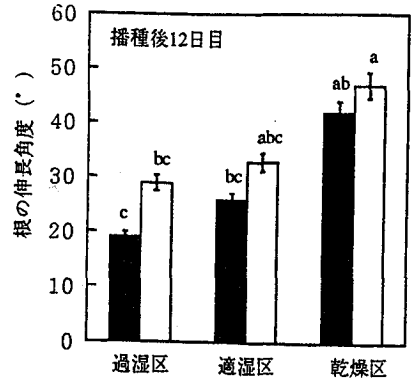
第5図 バスケットを用いた種子根の伸長角度の測定方法の概略
伸長角度 = $\frac{\theta_1 + \theta_2 + \theta_3}{3}$



第6図 バスケット法で得た種子根の伸長角度と圃場における「根の深さ指数」の関係
**は1%水準で有意。

2) 根の伸長角度に及ぼす土壤水分の影響

日本とオーストラリアのコムギ2品種を土壤水分条件を変えて生育させ、バスケット法により根の伸長角度を調べた。過湿区、適湿区及び乾燥区を設けて、播種後12日目に種子根の伸長角度を調べた結果、伸長角度は過湿区で最も小さく、乾燥区で最も大きかった(第7図)。すなわち、コムギの種子根の下向きの伸長角度は乾燥した土壤では大きくなることが明らかになった。

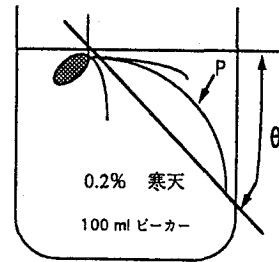


第7図 コムギ2品種の土壤水分処理区別の根の伸長角度
 ■: タクネコムギ, □: Egret. 平均値土標準誤差. 同じアルファベットを付した値の間には FisherのPLSD法により5%水準で有意な差がない。

3. 根の重力屈性に及ぼす環境の影響

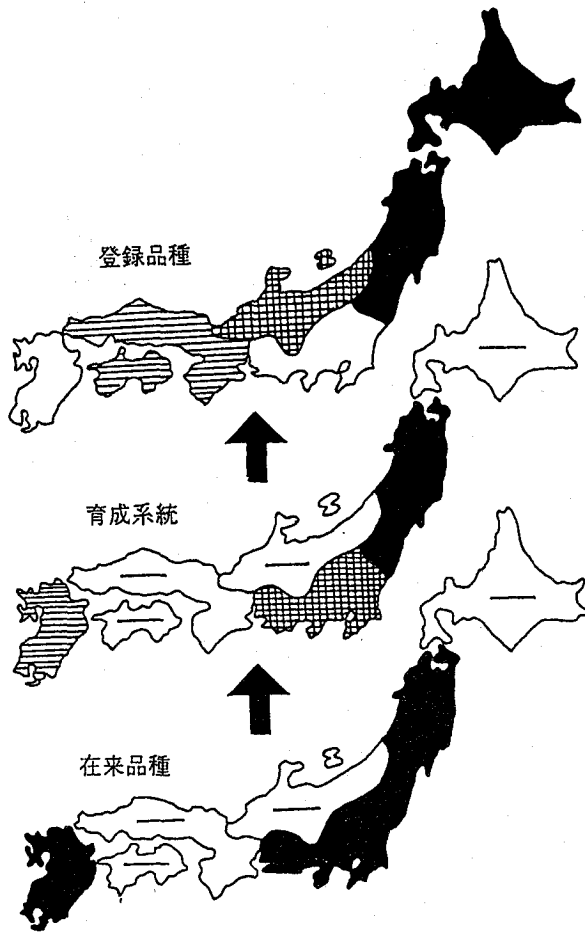
1) 根の重力屈性の品種間差異

根の重力屈性による屈曲角度を寒天培地を用いる方法で調べた。100 ml ビーカーに0.2%の寒天培地(第8図)を作り、あらかじめ発根させたコムギの幼植物を根が培地内で水平になるような角度(重力方向と直角)で置床し、2日後に根の伸長角度を調査した。



第8図 寒天培地を用いた種子根の重力屈性による屈曲角度の測定の概略
 P: 初生種子根, θ : 屈曲角度

農林水産省に品種登録されているコムギ133品種の初生種子根の重力屈性を調べた結果、重力屈性による屈曲角度は北日本で育成された品種で大きく、南日本で育成された品種で小さい傾向にあることが明らかになった(第9図上)。そこで、東北、関東及び九州地域の育成系統と在来品種346品種・系統を調査したところ、在来品種ではいずれの地域でも屈曲角度の平均値が大きかったが、関東及び九州地域では育成系統、登録品種の順に屈曲角度の平均値が小さくなってきたことが判明した(第9図中下)。このことから、水田裏作の多い九州と関東では、品種の育成過程で根の重力屈性による屈曲角度が小さい品種が選抜されてきたのではないかと考えられた。また、海外の326品種の種子根の重力屈性を調べたところ、いずれの地域でも日本の品種に比べて重力屈性による屈曲角度の平均値が大きいことが明らかになった(第1表)。



第9図 品種の育成課程における種子根の重力屈性に関する地理的変異の形成
 矢印はコムギ品種の育成段階の方向性を示す。登録品種は全国の133品種、
 地域育成系統および在来品種は東北、関東および九州の3地域を調べた結果。
 寒天培地で調べた根の屈曲角度の品種系統の平均値：□ < 30° ≤ ▨
 < 35° ≤ ▩ < 40° ≤ ■。

第1表 原産地別にまとめた世界各地域のコムギ品種の初生種子根の重力屈性による屈曲角度

品種の原産地	屈曲角度 (°)	品種 系統数	品種の原産地	屈曲角度 (°)	品種 系統数
カナダ	51.6 ± 1.5 a	48	西アジア・中近東	40.2 ± 2.0 b	41
オーストラリア	49.7 ± 1.3 a	82	中華人民共和国	51.0 ± 1.4 a	89
北部ヨーロッパ	40.7 ± 1.3 b	66	日本	34.3 ± 1.2 c	133

数値は平均値±標準誤差。同じアルファベットを付した数値の間には5%水準で有意差がない。日本は農林登録品種。

2) 根の重力屈性の遺伝

根の重力屈性による屈曲角度が大きい農林58号と小さい Chinese Spring を交配して、607個体の雑種第二代を得た。これらの根の屈曲角度を調べたところ、値が50° より小さいものが451個体、大きいものが156個体で、分離比は3:1に適合した。このことから、重力屈性を支配する1個の主働遺伝子の存在が確認された(第2表)。

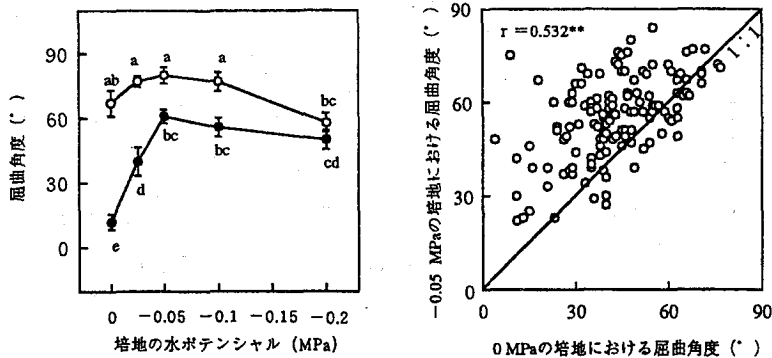
第2表 コムギ農林58号と Chinese Spring の雑種第二代 (F₂) における重力屈性による根の屈曲角度に関する分離パターン

	種子根伸長角度			3 (小) : 1 (大) に対する適合度	
	小 (個体)	大 (個体)	合計 (個体)	χ^2	P
第1実験	333	119	452	0.425	0.75~0.50
第2実験	118	37	155	0.105	0.75~0.50
合計	451	156	607	0.159	0.75~0.50

伸長角度大: 水平から60° 以上, 小: 50° 以下. 2回の実験における結果の同一性: $\chi^2 = 0.371$, P: 0.75~0.50

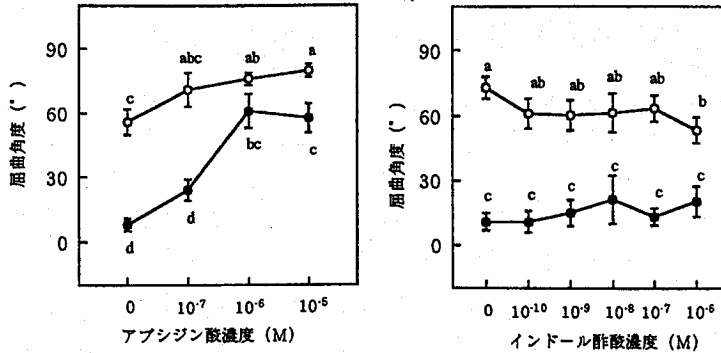
3) 根の重力屈性に及ぼす環境条件の影響

寒天培地で重力屈性に及ぼす環境要因の影響を調べた結果、温度、光、培地pH、培地溶存酸素濃度の影響は小さかった。一方、ポリエチレングリコール(PEG 6,000)を添加して水ポテンシャルを-0.05 MPa以下に低下させた寒天培地ではミナミノコムギの根の屈曲角度が著しく増加した(第10図左)。なお、水ポテンシャルを低下させた培地では、他の多くの品種で根の重力屈性が強くなることも明らかになった(第10図右)。



第10図 水ポテンシャルを低下させた寒天培地におけるコムギの根の重力屈性による屈曲角度
左図-●: ミナミノコムギ, ○: 農林58号, 同じアルファベットを付した値の間には FisherのPLSD法により5%水準で有意な差がない. 右図-農林登録133品種. **: 1%水準で有意.

また、アブシジン酸を添加した寒天培地ではミナミノコムギの根の重力屈性による屈曲角度が大きくなったことから、培地水ポテンシャルに伴う重力屈性の変化にはアブシジン酸が何らかの役割を担っているものと推測できた(第11図)。



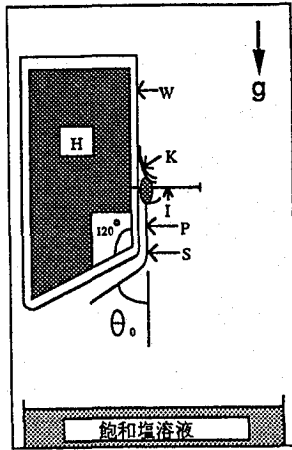
第11図 根の重力屈性に及ぼすアブシジン酸とインドール酢酸の影響
 ●：ミナミノコムギ，○：農林58号。平均値±標準誤差。同じアルファベットを付した値の間にはFisherのPLSD法により5%水準で有意な差がない。

4. 根の重力屈性と水分屈性の相互作用

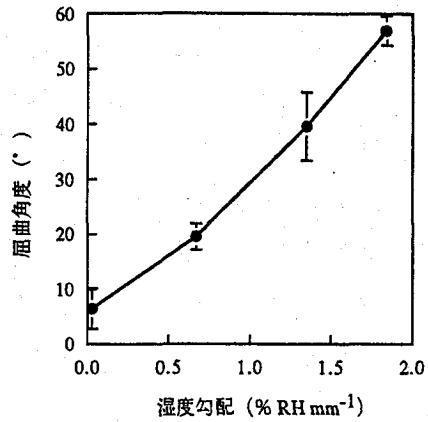
1) 根の水分屈性

近年、トウモロコシやエンドウで根が重力屈性を示さない突然変異体において、水分屈性が発現することが明らかにされている。そこで、コムギの種子根で水分屈性が発現するかどうか調べた。

縦26 cm, 横21 cm, 高さ22 cmのアクリル製のチャンバーに飽和塩溶液を入れて湿度を制御し、水分供与体との間に湿度勾配を形成させた(第12図)。重力屈性による屈曲角度が小さいミナミノコムギを用いて実験した結果、種子根は0.67%RH mm⁻¹の湿度勾配で19.5°、1.84%RH mm⁻¹の勾配で57.0°の水分屈性による屈曲を示した(第13図)。



第12図 コムギの根の水分屈性を調べるための装置の模式図
 H:ホルダー, W:湿らせたガーゼ, K:湿らせたキムワイプ, I:虫ピン, P:初生種子根, S:実験開始時の根の先端の位置, θ_0 :水分屈性による根の屈曲角度

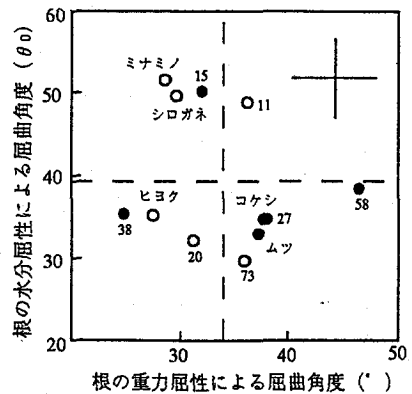


第13図 湿度勾配の大きさと水分屈性による根の屈曲角度の関係
 品種: ミナミノコムギ, 平均値±標準誤差。

2) 重力屈性と水分屈性の関係

根の重力屈性による屈曲角度が異なる12品種を用いて、水分屈性の実験を行った結果、コムギの根の水分屈性の強さには明らかな品種間差異が認められ、供試した日本の品種の中では、ミナミノコムギなど4品種において水分屈性が強く発現することが明らかになった。

このため、コムギ品種は根の重力屈性の強弱と水分屈性の強弱から合わせて4つのグループに分けることができた(第14図)。



第14図 日本のコムギ12品種の根の重力屈性と水分屈性の関係
 ●:北日本品種, ○:南日本品種, 破線は全品種の平均値, 実線は各品種の標準誤差の平均値を示す。

5. まとめ

コムギの根系の形成には根の屈曲反応が重要な役割を担っており、根系形態の品種間差異や環境条件による変化は根の屈曲反応と密接な関係にあることが明らかになった。主要な屈曲現象のひとつである重力屈性の強さは遺伝的に決められており、品種の原産地による地理的変異が見られることから、重力屈性が根系の形態形成を通して品種の環境適応性と関係していることが考えられた。一方で、根の重力屈性は周囲の水分条件により変化することも明らかになった。すなわち、乾燥した土壌で植物がより深い根系を形成する適応的な形態形成のメカニズムのひとつに重力屈性の変化をあげることができた。また、トウモロコシやエンドウの変異系統に見られる水分屈性がコムギの根でも発現することが初めて明らかになり、重力屈性と水分屈性の強さの組み合わせでコムギの品種を4種類に分けることができた。

本研究で得られた知見は植物の環境適応性や作物の環境ストレス耐性の向上のためだけでなく、最近進展が著しい微少重力環境下における植物の生育に関する研究にも基礎的な資料となると考えられる。

論文審査の要旨

作物の根は植物を重力に抗して支持し、水分、養分を吸収して植物の生活を支える極めて重要な機能を持っているにも関わらず、研究の繁雑さや多大な労力を必要とするなどの理由により、地上部に比較して研究は遅滞している。本研究は、コムギを用いてその根系形成において、根の環境反応がどのような役割を担っているかを研究したものである。

まず、根系の発達と根の土壌内分布に及ぼす環境の影響を調べ、根量分布の品種間差、根系の発達と土壌、施肥、温度、土壌水分の関係について詳細に研究し、それらの関係について明確な相互関連を確立した。

ついで、根の伸長方向に及ぼす環境要因について研究し、まず最初に根の伸長角度に品種により遺伝的差異のあることを発見し、我国のコムギ品種の育成過程において、水田裏作として栽培される機会の多い西南暖地の品種は、畑作栽培の多い東北、北海道の品種に比べて、種子根の重力屈性による地表よりの屈曲角度が少ないことを発見した。すなわち、土壌水分の多い水田裏作に栽培される地方では、地表に近いところに根系をつくるような遺伝的選抜がなされていることを示した。また、この重力屈性の大小は交雑実験の結果、屈曲角度の大きい性質は単因子劣性の主動因子に支配されていることを明らかにした。

根の重力屈性に及ぼす、環境条件については温度、光、酸性度、酸素濃度などは影響がすくなく、水ポテンシャルの低下とアブジン酸の添加は屈曲角度の増加をもたらすことを発見した。この発見は、上記の土壌乾湿条件にたいする根系形成を説明するものとして貴重である。

さらに、極く最近その存在が始めて科学的に証明された根の水分屈性について、とくに重力屈性との相互作用を種子根を用いて研究し、コムギの種子根が水分屈性を示すことを始めて明らかにした。また多数品種について、水分屈性と重力屈性の相互作用をしらべ、この両屈性の大小の組み合わせについて可能な4組み合わせに属する品種が存在することを明らかにした。すなわち、水分屈性と重力屈性はそれぞれ独立して機能する可能性を示唆したものである。

このように、本研究は世界的に極めて重要な作物のコムギを材料にして、その根系形成に及ぼす各種環境要因の役割を明らかにしたばかりでなく、その根系形成に寄与する各々の根の環境反応を特に重力屈性、水分屈性の面から解析したもので、作物栽培における根の役割の理解や新品種育成の指針に大きく貢献した。よって、本研究者は博士（農学）を授与されるに値すると判定した。