

学 位 論 文 題 名

The genetic variation in root penetration ability
into the hard soil layer in wheat

（コムギにおける硬盤土壌層への根貫通力の遺伝変異）

学位論文内容の要旨

21 世紀は人口爆発および生活水準の向上に伴って食糧の消費量が増加すると予測されているため、子実穀物における収量性の向上は今後の世界的な重要課題である。コムギ (*Triticum* spp.) では、半おい性遺伝子 (*Rht-B1b*, *Rht-D1b*) の導入によって、‘緑の革命’と呼ばれる劇的な収量性の向上が実現した。しかし、それは十分に養水分を供給できる環境においてのみであり、乾燥地におけるコムギ収量は依然低く、降雨量による変動が大きい。また、今後の地球温暖化によって、世界各地で乾燥地面積が増加すると予測されていることから、乾燥抵抗性に関する様々な形質の遺伝的改良がコムギ生産における安定化の鍵を握ると考えられる。特に、乾燥、大型機械の走行や有機物の減少等によって土壌が締め固められた硬盤土壌では、コムギの根の伸長が物理的に抑制され、乾燥害を受けやすくなるので、硬盤土壌への根貫通力の遺伝的改良が重要な一形質として挙げられる。しかし、これまでにコムギの根貫通力に関する遺伝的な知見はほとんど得られていない。そこで本研究では、マカロニコムギ (*T. turgidum* L. var. *durum*) およびパンコムギ (*T. aestivum* L.) における根貫通力を遺伝的に改良するための基礎的知見を得ることを目的として、根貫通力に関する簡易評価法の確立、国内・外品種における遺伝変異の評価および量的形質遺伝子座 (QTLs) の同定を行った。

コムギにおける根貫通力評価法の確立および遺伝変異の評価

根貫通力の遺伝変異を調査するためには効率的な評価法が必要とされる。このため、ロウ (paraffin) とワセリン (Vaseline) を一定割合で混合して作成した厚さ 3mm の円盤 (PV 層) を硬盤層のモデルとして挿入した塩ビ製ポット (直径 5cm, 深さ 10~30cm) を考案した。硬盤土壌条件に適応したエチオピア在来品種および好適土壌条件で育成された国際トウモロコシ・コムギ研究センター (CIMMYT) の品種からなるマカロニコムギ 24 品種を供試して、播種後 8 週目に PV 層を貫通した根数 (貫通根数) を根貫通力の指標として評価したところ、エチオピア在来品種は CIMMYT 品種よりも貫通力が高かった。さらに、ポットにおいて貫通力が高かったエチオピア在来 2 品種と低かった CIMMYT 2 品種、および北海道における主要春播品種の‘ハルユタカ’を硬盤層の存在する圃場で栽培して、根系分布を比較したところ、エチオピア在来品種は CIMMYT 品種およびハルユタカよりも硬盤層下部の根量が多かった。これらのことから、本ポットで評価した根貫通力は硬盤層が存在する圃場における根系分布と関連する要因のひとつであり、本ポットを用いて根貫通力の遺伝変異を簡易的に評価できるものと推察した。

コムギ遺伝資源における根貫通力の遺伝変異

日本各地で育成されたパンコムギ 81 品種の根貫通力を、ポット評価法を用いて調査したところ、有意な品種間差異が認められ、マカロニコムギのエチオピア在来品種よりも貫通力が高い品種も認められた。また、貫通根数と種子根および冠根の合計発根数（全根数）および貫通指数（全根数に対する貫通根数の割合）との関係を解析したところ、全根数および貫通指数は貫通根数といずれも有意な正の相関関係を示したが（ $r=0.477$ および $r=0.811$ ）、根数と貫通指数の相関関係は有意ではなかった（ $r=0.190$ ）。さらに、全根数は茎数、葉身乾物重、PV 層上部の根乾物重および秋播性と有意な正の相関関係を示したが、貫通指数と有意な相関関係を示す形質は認められなかった。これらのことから、国内コムギ品種の根貫通力には大きな変異が存在し、その構成要素である全根数と貫通指数は異なる遺伝的要因に制御されているものと推察した。さらに、貫通指数を高めることによって、草型等の地上部形質を変えることなく貫通力を改良できることが示唆された。

コムギの稈長等を制御する *Rht-B1b* および *Rht-D1b* 遺伝子が根貫通力に及ぼす影響

ポット評価法を用いて、マカロニコムギおよびパンコムギの長稈親（*Rht-B1a* かつ/または *Rht-D1a*）とそれらの *Rht-B1b* および *Rht-D1b* 遺伝子に関する準同質遺伝子系統群（NILs）3 系統の根貫通力をポット評価法で比較したところ、長稈親と NILs の貫通力に有意な差異は認められなかった。さらに、マカロニコムギの長稈モロッコ在来種 '*Jennah Khetifa* (JK, *Rht-B1a*)'、国際乾燥地域農業研究センター（ICARDA）育成半わい性品種 '*Cham1* (C1, *Rht-B1b*)' およびそれらから由来した組換え自殖系統群（RILs）110 系統の根貫通力を調査したところ、JK が C1 の約 2 倍の貫通根数を示した。RILs における稈長と貫通根数との相関関係は有意でなく、貫通根数が JK 並みで稈長が C1 並みの RILs も認められた。これらのことから、*Rht-B1b* および *Rht-D1b* 遺伝子が根貫通力に及ぼす影響は小さいと推察された。これまでの調査では、半わい性品種に根貫通力の劣るものが多かったが、本結果から、根貫通力に優れる半わい性品種の育成が可能であると考えられた。

根貫通力と関連する量的形質遺伝子座（QTLs）の同定

RILs の表現型値と遺伝地図を用いて QTL 解析を行ったところ、6A 染色体の長腕に根貫通力と関連する 3 つの QTLs が検出され、根貫通力の変異のそれぞれ 13.7、18.0 および 14.7% が説明された。これら QTLs には貫通指数も有意に関連しており、変異のそれぞれ 16.1、14.8 および 14.6% が説明された。また、根乾物重、草丈および茎数に関する QTLs も検出されたが、それぞれ 1B、4B および 1A 染色体に位置し、根貫通力に関する QTL の位置とは異なった。なお、いずれの QTLs も JK 由来の対立遺伝子がこれら表現型値を増加させる効果を有していた。これらのことから、JK は近代コムギ品種における根貫通力の遺伝的改良を行う上で有望な遺伝資源となりうることが示唆された。また、同定された QTLs により、貫通指数の他形質からの独立性が確認された。これらは根貫通力の遺伝機構を解明するための有用な知見のひとつになると考えられた。

以上のことから、本研究で開発した、PV 層を用いたポットでの根貫通力評価法はコムギの乾燥抵抗性を改良するための新たな育種選抜手法として利用できるものと考えられる。また、コムギの根貫通力に幅広い遺伝変異が存在することが明らかとなり、これに関連する QTLs も検出された。よって、従来困難とされてきた根系育種を促進できる端緒が得られたものと考えられ、乾燥地におけるコムギの収量性向上および安定に貢献できるものと期待される。

学位論文審査の要旨

主 査 教 授 岩 間 和 人

副 査 教 授 佐 野 芳 雄

副 査 助教授 寺 内 方 克

副 査 室 長 小 柳 敦 史

((独) 農業技術研究機構 東北農業研究センター
畑地利用部 作付体系研究室)

学 位 論 文 題 名

The genetic variation in root penetration ability into the hard soil layer in wheat

(コムギにおける硬盤土壌層への根貫通力の遺伝変異)

本論文は図 25, 表 18 を含み, 5 章からなる総頁数 118 の欧文論文であり, 別に参考文献 2 編が添えられている。

21 世紀は地球温暖化によって, 世界各地で乾燥地面積が増加すると予測されているため, 作物における様々な乾燥抵抗性関連形質の遺伝的改良が, 食糧生産・安定供給の鍵を握ると考えられる。特に, 乾燥, 大型機械の走行や有機物の減少等によって土壌が締め固められた硬盤土壌では, 作物の根の伸長が物理的に抑制され, 乾燥害を受けやすくなるので, 硬盤土壌への根貫通力が重要である。コムギは世界的な主作物であるが, その根貫通力に関する知見は, これまでほとんど得られていない。そこで本研究では, コムギにおける根貫通力を遺伝的に改良するための基礎的知見を得ることを目的として, 根貫通力に関する簡易評価法の確立, 遺伝変異の同定および遺伝機構の解析を行った。

コムギにおける根貫通力評価法の確立および遺伝変異の評価

根貫通力の遺伝変異を調査するために, ロウとワセリンを混合して作成した厚さ 3 mm の円盤 (PV 層) を硬盤層のモデルとして挿入した塩ビ製ポットを考案した。コムギ 24 品種を供試して, PV 層を貫通した根数 (貫通根数) を根貫通力の指標として評価したところ, 貫通根数に幅広い変異が認められた。さらに, 貫通根数の多かったエチオピア在来 2 品種と少なかった CIMMYT (国際トウモロコシ・コムギ改良センター) 育成 2 品種, および北海道春播品種ハルユタカの根系分布を硬盤土壌圃場で比較したところ, エチオピ

ア在来品種は CIMMYT 品種およびハルユタカよりも硬盤層下部の根量が多かった。これらのことから、根貫通力は硬盤土壌圃場における根系分布に影響する一要因であり、本ポットを用いて根貫通力の遺伝変異を簡易的に評価できるものと推察した。

日本のコムギ遺伝資源における根貫通力の遺伝変異

日本で育成されたパンコムギ 81 品種の根貫通力をポット評価法で比較したところ、有意な品種間差異が認められ、マカロニコムギのエチオピア在来品種より根貫通力が高い品種も認められた。また、貫通根数は種子根・冠根の発根数（全根数）および貫通指数（全根数に対する貫通根数の割合）といずれも有意な正の相関関係を示したが、根数と貫通指数の相関関係は有意ではなかった。さらに、全根数は茎数、葉身乾物重、PV 層上部の根乾物重および秋播性と有意な正の相関関係を示したが、貫通指数と密接な相関関係を示す形質は認められなかった。これらのことから、国内コムギ品種の根貫通力には大きな変異が存在し、その構成要素である全根数と貫通指数は異なる遺伝的要因に制御されているものと推察した。さらに、貫通指数を高めることによって、播性および草型を改変することなく根貫通力を改良できることが示唆された。

根貫通力の遺伝機構に関する解析

上述の調査では CIMMYT 等で育成された半わい性の多収品種に根貫通力の劣るものが多く、半わい性遺伝子が根貫通力を弱める可能性が懸念されたため、根貫通力と半わい性遺伝子の関係を検討した。マカロニコムギおよびパンコムギの長稈親 (*Rht-B1a* かつ/または *Rht-D1a*) とそれらの半わい性準同質遺伝子系統群 (NILs) の根貫通力をポット評価法で比較したところ、長稈親と NILs の間に有意な差異は認められなかった。さらに、マカロニコムギの長稈モロッコ在来品種 Jennah Khetifa (JK, *Rht-B1a*) と ICARDA (国際乾燥地域農業研究センター) 育成の半わい性多収品種 Cham1 (*Rht-B1b*) の交配に由来する組換え自殖系統群 (RILs) 110 系統における貫通指数および稈長について QTL (量的形質遺伝子座) 解析を行ったところ、6A 染色体の長腕に貫通指数と関連する 3 つの QTLs が検出された (寄与率はそれぞれ 16, 15 および 15%)。一方、稈長に関する QTLs は、半わい性遺伝子が座上すると報告されている 4B 染色体の短腕に検出された。いずれの QTLs も JK 由来の対立遺伝子がこれら表現型値を増加させる効果を有していた。これらのことから、根貫通力に優れ、かつ半わい性の多収品種を育成できるものと推察した。

以上の研究成果は、コムギの根貫通力を遺伝的に改良して乾燥抵抗性を向上させるための有益な知見を提供するとともに、従来困難であった作物の根系育種を効率的に行うための研究手法の一例を提示するものであり、学術的および実用的の両面から高く評価できる。よって審査員一同は、久保堅司が博士 (農学) の学位を受けるのに十分な資格を有するものと認めた。