

称号及び氏名	博士（応用生命科学）	辻 博之
学位授与の日付	平成27年2月20日	
論文名	農耕地土壌の保全的表層管理が作物の生育ならびに収量に及ぼす影響	
論文審査委員	主査	大門 弘幸
	副査	大木 理
	副査	北宅 善昭
	副査	大江 真道

論文要旨

作物栽培の前後に行われる耕起には、土壌の攪拌による肥料分布の均一化、表層土壌の細土化と整地による播種床の形成、排水性の改善、埋土種子抑制による雑草の発生制御などの多くの効果がある。一方で、大型機械を用いた圃場の全面耕起は、農耕地の荒廃を引き起こしやすいことが指摘され、近年の畑作物栽培では、耕起を行わない不耕起栽培やトラクターの牽引力だけで作業ができる省力的な簡易表層耕起法としてのチゼルプラウ耕などの保全的表層管理が見直されている。しかし、これらの新たな圃場の表層管理が作物の生育と収量に及ぼす影響については不明確な点が多く、導入し得る技術の基盤となる作物科学的な知見が乏しい。その導入のためには、個々の作物がこれらの表層管理に対してどのように応答するかを明らかにしなければならない。そこで本研究では、これまでに知見がほとんどない保全的表層管理下の作物の根系発達と生育初期の養分吸収に着目し、その反応を明らかにすることによって、保全的表層管理技術の導入の基盤的知見を得ることを目的とした。あわせて畑作物生産の制限要因となる雑草を被覆作物を利用した表層管理によって制御するために、リビングマルチ栽培における作物と雑草間の競合機序の解析を行い、雑草抑制効果を定量化することで、保全的表層管理の基盤を構築することを目指した。なお、いずれの研究もその成

果を実際の生産現場へ導入することを目的として、これらの管理が実践され得る条件に近い現地圃場で遂行した。

第1章 不耕起栽培が作物の生育と収量ならびに根系発達に及ぼす影響

まず、二毛作畑作地帯である関東地域において不耕起栽培の導入に適する作期を検討し、あわせてリン酸吸収係数が高い火山灰土壌の不耕起栽培におけるリン酸供給ならびに土壌表面に残存させた前作物の収穫残さ（以下作物残さ）の養分供給効果について解析した。慣行耕起区、連続不耕起区、夏作に不耕起・冬作に耕起する省耕起区の3耕起体系に、熔燐施用と作物残さの施用の有無を組み合わせ、10年間にわたり二毛作を継続した。耕起はプラウ耕とした。その結果、冬作のオオムギ、コムギ、カラシナ、飼料用レーブならびに夏作のトウモロコシ、ダイズ、陸稲、ラッカセイについては、地上部乾物重と収量がいずれも省耕起区で最も高かった。不耕起区における収量は冬作で低く、特に低温年に最大40%の減収がみられた。熔燐の施用は不耕起区における冬作の減収を緩和したことから、不耕起区における冬作の低収には作物のリン酸吸収が関与することが示唆された。作物残さは冬作物を多収としたが、低温年にはその効果は小さかった。以上の結果から、二毛作地帯においては不耕起栽培は夏作への導入が効果的であることが明らかとなった。

次に、これまで言われてきた不耕起による土壌の緻密化によって根系発達が抑制される現象をより詳細に解析するために、不耕起栽培したトウモロコシとダイズについて根の深さ指数（Root Depth Index: RDI）と伸長角度を調査した。トウモロコシでは、RDIには3耕起体系間で明確な差異は認められなかったが、ダイズでは、慣行耕起区に比べて不耕起区でRDIが有意に小さかった。垂直軸に対する根の伸長角度は、両作物ともに慣行耕起区に比べて不耕起区で大きかった。また、不定根から発生する側根の発達は、慣行耕起区に比べて不耕起区で促進された。すなわち、ダイズでは不耕起栽培により側根が増えて10 cm以下の層に到達する根が減少して浅根化し、生育を制限することが明らかとなった。

不耕起栽培では作物の初期生育が抑制されることが多数報告されているが、本研究では火山灰土壌における不耕起栽培では夏作物の生育が促進されるという興味深い知見が得られた。そこで、不耕起栽培による初期生育の促進時期および根系の発達程度と土壌表層の養分吸収能を調査し、生育促進の機序を解析した。ダイズとトウモロコシを供試し播種時期を変えて栽培し、根系の発達程度の指標として根長の相対生長率（cm/cm/日）を求めた。養分吸収能については、株直下に異なる形状の直径5 cmの筒を圃場表層に埋設して表層への根系発達を制限し、養分吸収の指標として深さ5 cmあるいは20 cmの層に施用したルビジウムの吸収量を調査した。その結果、両作物の生育については、積算気温350°Cまでの期間の地上部乾物重ならびに同200°Cから350°Cの期間の相対生長率は、慣行耕起区に比べて不耕起区で高かった。ダイズの不定根から生じた側根の相対生長率は不耕起区で高くなり、高くなる時期は地上部の生育促進時期とほぼ同じであった。土壌表層への根の伸長を筒で制限すると、不耕起区では作物の生育と表層5 cmに施用したルビジウムの吸収が抑制されたが、慣行耕起区

ではこれらの抑制は認められなかった。以上の結果から、不耕起栽培による初期生育の促進は、出芽後の積算気温が 200°C を経過した以降、土壌表層の根の養分吸収が促進されることが一因であることが明らかとなった。

第2章 不耕起栽培が陸稲の干ばつ害軽減に及ぼす影響

出穂時期が干ばつ期と重なると障害を受けやすい陸稲では、上述したように不耕起栽培により生育が促進されると出穂が早まり干害が回避されることが期待される。そこで4年間にわたり、干ばつによる葉の萎ちょう開始日と出穂の関係から、不耕起栽培が陸稲の干ばつ害軽減に及ぼす影響を検討した。その結果、出穂期は不耕起区で慣行耕起区より早まり、萎ちょう開始日の+7日以下となり、乾燥ストレスに遭遇してから出穂するまでの日数が短い場合に干ばつ害が回避されると考えられた。すなわち、不耕起栽培による生育促進により、乾燥ストレスに対する作物の感受性が高い時期を乾燥ストレスの遭遇時期より早めることで干ばつによる減収を回避できることを明らかにした。

第3章 チゼルプラウ耕同時播種機を用いた春播きコムギの初冬播きが融雪直後の根の状態とその後の生存に及ぼす影響

チゼルプラウ耕を利用したコムギの初冬播き栽培は北海道の春播きコムギの増収技術である。しかし、表層耕耘と同時に播種するチゼルプラウ耕同時散播栽培では出芽が安定しない点が問題となっている。そこで、春先の融雪直後のコムギ幼植物の生存状態を調査し、出芽安定化の条件を根の発育の点から明らかにすることを試みた。2年間にわたり、融雪後のコムギの生存率と根の状態を調査し、チゼルプラウ簡易耕起法が初冬播きコムギの出芽と初期生育に及ぼす影響を解析した。その結果、融雪後のコムギの生存率は、土壌中で発芽した個体で高く、次いで土壌表面で発芽した個体のうち融雪直後の地中貫入根数が2本以上の個体で高く、これらが収量向上に著しく寄与した。これらの結果から、春播きコムギの初冬播き栽培において越冬後の生存率と収量を高めるには、適切な覆土と貫入種子根数を増やすことが重要であることが明らかとなった。

第4章 リビングマルチによるダイズ作の除草必要期間の短縮効果と雑草抑制効果

不耕起の一種として位置づけられるリビングマルチについては研究事例が少なく、雑草抑制に効果があるとされるものの、その定量化はなされていない。そこで、秋播きコムギの低温要求性を利用したリビングマルチ栽培をダイズ作に導入し、その除草効果の定量化と収量への影響を明らかにするために、ダイズの栽植密度とコムギの播種量を異にして圃場試験を実施した。除草必要期間の短縮効果については、強害雑草であるイヌビエ、オオイヌタデ、イヌホオズキ等の苗を定植してその影響を調査した。その結果、ダイズ収量は慣行耕起区に比べてリビングマルチ区でやや減少したが、標準区の1.5倍としたダイズ高栽植密度区では、雑草抑制効果が明らかに高まった。リビングマルチ区の除草必要期間は、慣行区に比べて、

イヌビエで 15 日、オオイヌタデとイヌホオズキで 20 日程度それぞれ短縮され、コムギを用いたリビングマルチによるダイズ作主要雑草の除草効果が定量的に示された。

総 括

本研究では、農耕地土壌の保全的表層管理技術としての不耕起栽培、チゼルプラウ耕による簡易耕栽培、リビングマルチ栽培について、特に関東以北の畑作地帯に導入する際の基礎的知見を得ることができた。すなわち、これまでの表層管理技術に関連する研究では、作物の個々の生理生態学的な特性に着目した詳細な解析がほとんどなされないままに、耕起栽培との収量を比較する事例研究が多かったが、本研究の遂行によりこれらの表層管理技術導入の基盤となる作物科学的な知見を示すことができた。特に、火山性土壌の二毛作地帯における不耕起栽培が夏作物の初期生育を顕著に促進することを明らかにした点は、これまでの報告に多かった不耕起栽培による初期生育の遅延とは異なる結果を示すものである。一方で、冬作では地温上昇が抑制されるために生産性に悪影響を及ぼす危険性が高く、この点を明らかにした意義は輪作体系を構築する上で大きい。また不耕起による陸稲の初期生育期間短縮を作物の根系発達の視点から明らかにし、陸稲の干害回避などに活用できる基礎知見が得られた意義は大きい。生育後期のシンクへの同化産物の供給増大を図り、安定多収技術を確立するという検討課題が残された。また、寒冷地における省耕起栽培であるチゼルプラウ耕同時播種においては、生育初期の種子根の貫入、根系発達の促進が生産安定化のために重要であることを示した。さらにリビングマルチによる表層管理技術の効果を雑草制御の視点から定量化できたことは、今後の保全的表層管理の新たな方向性を示すこととなる。今後はこれらの知見を基に、地力増強のための有機物の施用、省耕起同時播種技術の高度化、雑草抑制のための埋土種子の密度低減等の技術開発を具体的に進めることができると考えている。

審査結果の要旨

作物栽培の前後に行われる耕起には、土壌の攪拌による肥料分布の均一化、表層土壌の細土化と整地による播種床の形成、排水性の改善、埋土種子抑制による雑草の発生制御などの多くの効果がある。一方で、大型機械を用いた全面耕起は、作土層の流亡を引き起こしやすく、コストもかかることから近年の畑作物栽培では、耕起を行わない不耕起栽培や省力的なチゼルプラウ耕などの保全的表層管理が試みられている。しかし、これらの表層管理が作物の生育と収量に及ぼす影響には不明確な点が多く、その導入のためには、個々の作物がこれらの表層管理に対してどのように応答するか

を生理生態学的視点から明らかにしなければならない。そこで本研究では、保全的表層管理下の作物の根系発達と生育初期の養分吸収に着目し、その反応を明らかにすることによって、保全的表層管理技術の導入の基盤的知見を得ることを目的とした。あわせて、畑作物生産の制限要因となる雑草を被覆作物を利用した表層管理によって制御するために、リビングマルチ栽培における作物と雑草間の競合機序の解析を行い、雑草抑制効果を定量化することを目指した。本研究の遂行により、東日本以北の火山灰土壌圃場において保全的表層管理技術を生産現場に導入するための基盤となる作物生理生態学的な知見が得られた。

第1章では、二毛作畑作地帯である関東地域において不耕起栽培に適する作期を10年にわたる圃場試験によって検討し、夏作物のトウモロコシ、ダイズ、陸稲、ラッカセイは不耕起栽培によってその初期生育が促進されることを示した。その機序として、トウモロコシとダイズを用いて、根の深さ指数と伸長角度、ならびにルビジウムの吸収と土層別の水分吸収を指標に解析を行い、出芽後の積算気温が200°Cを経過した以降に土壌表層の根の養水分吸収が促進されることが主因であることを明らかにした。一方、不耕起でオオムギ、コムギ、カラシナなどの冬作物を栽培すると、作物残渣が土壌表層に残ることによって地温が上昇せずに、特に低温年で減収する危険性を指摘した。さらに、熔燐の施用が冬作の減収を緩和することを明らかにし、火山灰土壌圃場の二毛作地帯においては、不耕起栽培は夏作への導入がより効果的であることを示した。

第2章では、出穂時期が干ばつ期と重なると障害を受ける陸稲において、不耕起栽培により生育が促進されると出穂が早まり、干害が回避される可能性に着目した。その結果、陸稲の不耕起栽培では、乾燥ストレスに対する感受性が高い時期がストレス遭遇時期より早まることで、干ばつによる減収を回避できることを明らかにした。

第3章では、省力的なチゼルプラウ耕を利用したコムギの初冬播き栽培における出芽の不安定性を、融雪直後の幼植物の発根の程度から解析した。融雪後のコムギの生存率と根の状態を調査し、チゼルプラウ耕同時播種を行った場合、融雪後の生存率は土壌中で発芽した個体で高く、次いで土壌表面で発芽した個体のうち融雪直後の地中貫入根数が2本以上の個体で高く、これらが収量向上に大きく寄与することを明らかにした。

第4章では、コムギのリビングマルチによるダイズ作における雑草抑制の定量化を行うために、ダイズの栽植密度とコムギの播種量を異にして圃場試験を実施した。その結果、ダイズ収量は慣行耕起区に比べてリビングマルチ区でやや減少したが、標準区の1.5倍としたダイズ高栽植密度区では雑草抑制効果が明らかに高まり、除草必要期間は慣行区に比べてイヌビエで15日、オオイヌタデとイヌホオズキで20日程度、それぞれ短縮されることを定量的に示した。

以上のように、本研究では、農耕地土壌の保全的表層管理技術としての不耕起栽培、チゼルプラウ耕による簡易耕栽培、リビングマルチ栽培について、特に関東以北の畑作地帯に導入する際の基礎的知見が得られた。特に、不耕起栽培が夏作物の初期生育を顕著に促進することを明らかにした点は、これまでの報告に多かった初期生育の遅延とは異なる結果を示すものであり、またこの現象を根の発育と養分吸収から解析し、陸稲の干害回避への応用の可能性を示した点は特記される成果である。一方で、冬作では低温年に生産性に悪影響を及ぼす危険性が高く、この点を明らかにした意義は輪作体系を構築する上で大きい。また、寒冷地におけるチゼルプラウ耕同時播種において生育初期の種子根の貫入が生産安定化のために重要であることを示し、またリビングマルチによる表層管理技術の効果を定量化した。これらの成果は、今後の畑作栽培における保全的表層管理の新たな技術開発に資せるとともに、作物学や雑草学の分野における応用研究としても高く評価できるものである。したがって、本論文の審査および学力確認の結果と併せて、博士（応用生命科学）の学位を授与することを適当と認める。