

学 位 論 文 題 名

中国黄淮海平原に分布する塩類土壤地帯における地下水位の
制御による表層土壤に対する塩集積防止法に関する研究

学位論文内容の要旨

黄河、淮河および海河の下流域に分布する中国黄淮海平原の塩類土壤地帯では、近年、上中流域における河川水の消費量が増加したためにコムギを始めとする作物の主要栽培時期である初春から夏にかけて河川水が流れて来なくなった。その結果、農業生産のために必要な灌漑水を河川水に求めることが不可能になり、塩を含む地下水灌漑をせざるを得なくなっているのが現状である。

このような背景のもとに本研究では黄河および海河下流域の塩類土壤地帯を研究対象として、1) 気象条件が表層土壤の塩集積に及ぼす影響および 1950 年代から 1980 年代初期にかけて大規模に行われた河川水灌漑が表層 60cm の土壤(以後、表層土壤)における塩集積に及ぼした影響を評価し、2) 地下水の水位及び水質と表層土壤の塩集積との関係を解析して、適正地下水位を解明するとともに、3) 塩集積のレベルを異にする土壤に対する地下水灌漑と施肥が冬コムギの収量に及ぼす影響を検討して、4) 地下水灌漑が土壤の塩集積に及ぼす影響を明らかにした。さらに本研究で得られた結果に基づいて、中国黄淮海平原の塩類土壤地帯における地下水位の制御による表層土壤に対する塩集積防止法を提案した。得られた研究成果の概要は下記の通りである。

1. 気象条件と土壤塩集積との関係

黄河および海河下流域の塩類土壤地帯における年間蒸発量(1077mm)は降水量(525mm)より 2 倍を超えるために、地下水位が高い場合には水の上昇移動とともに塩類も地下水や下層土壤から上昇移動し、表層土壤に集積した。特に、9 月 - 5 月の乾期には蒸発量が降水量より著しく多いために、水の上昇移動に伴う塩類の表層集積が著しかった。

2. 大規模な河川水灌漑が表層土壤における塩集積に及ぼす影響の評価

1950 年代後期から 80 年代初期にかけて、この地域では黄河と海河の河川水を大量に導入して農地灌漑を行うとともに、表層土壤に集積した塩類を洗脱した。しかし、地形が平坦であるために排水施設を整備したにもかかわらず排水が不十分であった結果、地下水位の上昇を招き表層土壤に塩が集積する土壤が増加して、塩類土壤の面積は拡大した。80 年代初期以後、黄河、海河の上・中流域の経済の発展に伴って水消費量が急増し、下流域にある平原に対する河川水の流入量が急速に減少し、作物生産を維持するために地下水灌漑をせざるを得なくなった。その結果、地下水位が徐々に低下して表層土壤の塩集積量が減少し、塩類土壤の面積は減少しつつある。表層土壤の水溶性塩イオン組成も変化し、 Na^+ 、 Mg^{2+} 、 Ca^{2+} 、

Cl^- 、 SO_4^{2-} 含有率は全て低下し、 Na^+ と Cl^- 含有率が特に低下した。

3. 塩類土壌地帯における地下水の水位と水質が表層土壌に対する塩集積に及ぼす影響

1) 塩類土壌地帯における地下水の水質は地下水位と密接に関連し、地下水の塩濃度は地下水位が 3.5m より浅い場合には地下水位の上昇に伴って低下し、地下水位が 3.5m より深い場合には地下水位の低下に伴って低下した。地下水に溶存するカチオン濃度は $\text{Na}^+ \gg \text{Mg}^{2+} > \text{Ca}^{2+}$ の順であり、アニオン濃度は $\text{Cl}^- \gg \text{HCO}_3^- > \text{SO}_4^{2-}$ であった。

2) 表層土壌の塩集積は地下水の水位と水質によって支配された。地下水位の上昇に伴い、表層土壌の塩含有率は上昇した。地下水位が 2.5m より浅く、地下水の塩濃度が高い場合には表層土壌に塩が集積し、地下水位が 2.5–3.0m の場合でも地下水の塩濃度が著しく高い場合には軽度の塩集積が認められた。一方、地下水位が 3.5m より深い場合には表層土壌に塩集積は起こらなかった。したがって、表層土壌に塩集積をもたらさない適正地下水位としては、安全性を考慮して、3.5m 以下であることが望ましいと結論した。

3) 表層土壌に集積する水溶性塩イオン含有率は、カチオンでは $\text{Na}^+ \gg \text{Mg}^{2+} > \text{Ca}^{2+}$ の順であり、アニオンでは $\text{Cl}^- > \text{HCO}_3^- \gg \text{SO}_4^{2-}$ であり、地下水のイオン濃度とはほぼ一致した。

4. 地下水灌漑と表層土壌の塩集積ならびに施肥が冬コムギの収量に及ぼす影響

1) 無灌漑区における冬コムギの収量は土壌の塩含有率の上昇に伴って著しく低下した。従って、土壌の高塩濃度障害は依然として黄淮海平原塩類土壌地帯における作物の生産性が低い重要な原因であると考えられた。

2) 冬コムギの収量から判断した灌漑水量は、土壌の塩含有率が $1.8\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 以下の土壌では 120mm で充分であり、 $2.0\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 以上の土壌では 240mm で 120mm より勝った。地下水灌漑によって高塩濃度障害と水欠乏による生育障害が抑えられ、収量は増加した。

3) 窒素とリンの施肥効果はどの塩レベルでも認められ、土壌の塩含有率の上昇に伴って増大し、灌漑水量の増加にともなっても増大した。従って、窒素とリン酸の施肥と地下水灌漑の間には有意な相乗作用が存在し、施肥と灌漑の効率を上げて、作物生産性を向上させるためには養分供給と水供給の総合対策を講ずるべきである提案した。

4) 窒素とリン酸を施肥した場合、植物体の Na 含有率は施肥量の増加に伴ってやや上昇した。このことから、窒素とリン酸の施肥効果は根のナトリウム排除能の強化によるものではなく、植物体内の高 Na 含有率に対する耐性の強化によるものであると考えられた。

5. 地下水灌漑が表層土壌の塩集積に及ぼす影響

1) 無灌漑区で乾期に栽培された冬コムギの収穫直後に測定した表層 120cm の土壌の塩集積量はわずかに増加し、収穫後の雨期後に表層土壌に集積した塩集積量はいずれの区においても灌漑前よりわずかに減少し、年間を通した塩集積量はほぼ零であった。

2) $1.9\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$ を含む地下水を 120mm 及び 240mm 灌漑することによって、それぞれ $228\text{g} \cdot \text{m}^{-2}$ と $456\text{g} \cdot \text{m}^{-2}$ の塩が土壌に添加された。

3) 乾期に栽培された冬コムギの収穫直後に測定した表層 120cm の土壌の塩集積量は 120 と 240mm の地下水灌漑区のいずれにおいてもわずかに増加したが、雨期後にはわずかに減少し、集積量は無灌漑区と大差なかった。従って、本地域においては、240mm 以下の地下水灌漑によって表層土壌に塩集積が進行する心配はないと判断された。

以上の結果から、半乾燥地塩類土壌地帯における持続的な冬コムギ生産のためには、(1)地

下水位を 3.5m 以下に維持することを基本とし、(2)地下水位が 3.5m より高い場合には地下水灌漑を行って地下水位を低下させ、(3)地下水位が低下しすぎて旱魃が問題になる場合には、運河を構築して黄河および海河に河川水が流れてくる冬季に河川水を導入し、漏水によって地下水を涵養することが望ましいと提案した。

学位論文審査の要旨

主査	教授	但野利秋
副査	教授	波多野隆介
副査	教授	長澤徹明
副査	助教授	大崎満

学位論文題名

中国黄淮海平原に分布する塩類土壤地帯における地下水位の 制御による表層土壤に対する塩集積防止法に関する研究

本論文は、図57、表7、引用文献96を含み、6章からなる総頁数109の和文論文である。別に参考論文5編が添えられている。

本論文は、中国黄淮海平原に分布する塩類土壤地帯における地下水位の制御による表層土壤に対する塩集積防止法を明らかにし、それを基にこの地域の主要作物である冬コムギの持続的な生産方策を提示することを目的として実施した研究の成果をとりまとめたものである。得られた研究成果の概要は下記の通りである。

1. 塩類土壤地帯における地下水の水位と水質が表層土壤に対する塩集積に及ぼす影響

1) 地下水の塩濃度は地下水位が3.5mより浅い場合には地下水位の上昇に伴って低下し、3.5mより深い場合には地下水位の低下に伴って低下した。地下水に溶存するカチオン濃度は $\text{Na}^+ \gg \text{Mg}^{2+} > \text{Ca}^{2+}$ の順であり、アニオン濃度は $\text{Cl}^- \gg \text{HCO}_3^- > \text{SO}_4^{2-}$ であった。

2) 表層土壤の塩集積は地下水の水位と水質によって支配された。地下水位が2.5mより浅く地下水の塩濃度が高い場合に表層土壤に塩が集積し、地下水位が2.5–3.0mの場合でも地下水の塩濃度が著しく高い場合には軽度の塩集積が認められた。一方、地下水位が3.5mより深い場合には地下水の塩濃度が上昇しても表層土壤に塩集積の増加は起こらなかった。したがって、表層土壤に塩集積をもたらさない地下水位としては、安全性を考慮して3.5m以下であることが望ましいと結論した。

3) 表層土壤に集積する水溶性塩イオン含有率は、カチオンでは $\text{Na}^+ \gg \text{Mg}^{2+} > \text{Ca}^{2+}$ 、アニオンでは $\text{Cl}^- > \text{HCO}_3^- \gg \text{SO}_4^{2-}$ であり、その高低順位は地下水のイオン濃度とほぼ一致した。

2. 地下水灌漑と表層土壤の塩集積ならびに施肥が冬コムギの収量に及ぼす影響

1) 無灌漑区における冬コムギの収量は土壌の水溶性塩含有率の上昇に伴って著しく低下した。

2) 地下水灌漑によって高塩濃度障害と水欠乏による生育障害が抑えられ、収量は増加した。塩集積土壌に対する冬コムギの収量から判断した灌漑水量は、表層土壌の水溶性塩含有率が $1.8\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ 以下の土壌では120mmで充分であり、 $2.0\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ 以上の土壌では240mmで120mmより勝った。

3) 窒素とリンの施肥効果はどの塩レベルでも認められ、土壌の水溶性塩含有率の上昇に伴って増大し、灌漑水量の増加にともなっても増大した。従って、窒素とリンの施肥と地下水灌漑の間には有意な相乗作用が存在し、冬コムギの生産性向上のためには養分供給と水供給の総合対策を講ずるべきである。

4) 窒素とリンを施肥した場合、植物体のNa含有率は施肥量の増加に伴ってやや上昇した。このことから、窒素とリンの施肥による耐塩性の強化は根のNa排除能の強化によるものではなく、植物体内の高Na含有率に対する耐性の強化によるものであると考えられた。

3. 地下水灌漑が表層土壌の塩集積に及ぼす影響

1) 地下水無灌漑区で乾期に栽培された冬コムギの収穫直後に測定した表層120cmの土壌の塩集積量はわずかに増加し、収穫後から雨期終了時までには表層120cmの土壌に集積した塩集積量は収穫後よりわずかに減少し、年間を通した塩集積量はほぼ零であった。

2) $1.9\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$ を含む地下水を120mm及び240mm灌漑することによって、それぞれ $228\text{g}\cdot\text{m}^{-2}$ と $456\text{g}\cdot\text{m}^{-2}$ の塩が土壌に添加された。

3) 冬コムギの収穫直後に測定した表層120cmの土壌の塩集積量は120と240mmの地下水灌漑区のいずれにおいてもわずかに増加したが、収穫後から雨期終了時までの間にわずかに減少し、年間を通した塩集積量は無灌漑区と大差なかった。従って、本地域においては、240mm以下の地下水灌漑によって表層土壌に塩集積が進行する心配はないと判断された。

以上の結果から、半乾燥地塩類土壌地帯における持続的な冬コムギ生産のためには、(1)地下水位を3.5m以下に維持しつつ地下水灌漑および窒素とリンの施肥をすることを基本とし、(2)地下水位が3.5mより高い場合には地下水灌漑を行って地下水位を低下させ、(3)地下水位が低下しすぎて旱魃が問題になる場合には、地下水灌漑を行うと同時に、運河を構築して河川水が流れてくる冬季に河川水を導入し、漏水によって地下水を涵養することが望ましいと提案した。

以上のように、本研究は、半乾燥地帯に分布する塩類土壌において持続的な作物生産を可能にするためには、地下水位を3.5m以下に制御するとともに、地下水灌漑と窒素・リンの施肥を組み合わせた総合的対策を採用することが重要であることを明示するとともに、地下水位が3.5 mより深い場合には地下水灌漑による表層土壌への塩の集積は起こらないことを明らかにしたものであり、学術上、応用上高く評価される。よって審査員一同は、耿清国は博士(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。