

学 位 論 文 題 名

北海道における高品質米生産に関する
土壌化学性と合理的施肥法の研究

学位論文内容の要旨

本研究の目的は、低タンパク質米を主眼に置いた高品質米生産のための肥培管理技術を確立することである。始めに、水稻生産基盤である北海道の水田土壌化学性の実態と課題を明らかにした。次に、圃場有機物（稲わら残渣）分解に伴う初期生育の阻害要因について解析するとともに、その対策技術を確立した。さらに、初期生育向上と窒素玄米生産効率の高い水稻生育を目指して、窒素とケイ酸の施用方法について検討した。

1. 水田土壌の実態と課題

北海道の水田 1578 筆の作土を採取・分析し、その化学性を評価した。pH (H_2O) は 4.5～6.9 の範囲に分布し、土壌診断基準の下限值以下の土壌が約半数あった。有効態リン酸の平均値は 500 mg kg^{-1} であった。交換性カルシウムは $510\sim5400\text{ mg kg}^{-1}$ の範囲に分布し、平均値 1985 mg kg^{-1} であった。カルシウムは低濃度領域に多く分布しており、土壌酸性化の要因と考えられる。培養ケイ酸は $34\sim290\text{ mg kg}^{-1}$ の範囲に分布し、平均値 103 mg kg^{-1} であった。また、 100 mg kg^{-1} 以下の不足域にある土壌が 51%認められ、特に台地土系で低い傾向にあった。遊離酸化鉄は $4.2\sim106.2\text{ g kg}^{-1}$ の範囲に分布し、平均値 18.6 g kg^{-1} 、46%が診断基準の下限値を下回っており、地域的には中央部太平洋岸で低い傾向にあった。以上のことから、北海道の水田土壌の問題点としては、①低 pH、②ケイ酸供給力の不足、③酸化容量である遊離酸化鉄の不足が挙げられる。

そこで、本試験では客土およびケイ酸・含鉄資材施用を試みた。その結果、土壌ケイ酸肥沃度の増進は、水稻体中のケイ酸濃度を高め、白米中のタンパク質含有量を低下させた。また、土壌の遊離酸化鉄濃度の増加が、根活性の向上と水稻の茎数増加をもたらし、精玄米収量の増加とタンパク質含有量の低下が認められた。遊離酸化鉄濃度の適正值に関しては、全硫黄濃度 0.8 g kg^{-1} 以下の水田土壌における遊離酸化鉄の適正水準を 20 g kg^{-1} (Fe/S モル比 10) とし、全硫黄濃度 0.8 g kg^{-1} 以上の水田土壌の場合には、Fe/S モル比 10 を目標に遊離酸化鉄濃度を高めるべきと判断した。

2. 圃場有機物の管理

北海道の土壌と稲わらを用いた培養試験を行い、嫌氣的分解で生成される土壌中の芳香族カルボン酸（安息香酸、2-フェニルカルボン酸、3-フェニルカルボン酸）の消長を、温度条件や土壌特性、有機物前歴の観点から検討した。稲わら無添加では、安息香酸が少量検出されたのみであった。稲わら添加では、各芳香族カルボン酸が検出され、そのピークは 30°C で 10 日頃（積算温度 300°C ）、 20°C で 13 日～20 日頃（積算気温 $260^\circ\text{C}\sim400^\circ\text{C}$ ）であった。特に、2-フェニルプロピオン酸は、水稻における窒素吸収阻害を引き起こす濃度である $1\text{ }\mu\text{M}$ 前後まで高まった事例もあった。各芳香族カルボン酸濃度は、有機物の連用土壌や遊離酸化鉄濃度の高い土壌において低

下する傾向にあった。

この対策として、湛水前の稲わらの好氣的分解を促進することにより、湛水後の分解基質を減少する方法及び湛水期間中における土壌の還元を抑制する技術を検討した。培養試験において5℃の低温条件下でも分解が進行し、低温条件下では窒素肥料および微生物由来の分解促進資材の添加により分解が促進された。深さ8cm程度の浅耕しによる稲わらの秋混和は、春混和（秋散布後、地表面に放置）と比較して冬期間の分解が進み、これに窒素肥料および微生物由来の有機物分解促進資材を、稲わら秋散布時に添加することでさらに促進された。水稻収穫時までの炭素減少率は60%程度で、湛水期間の炭素分解量は春耕起までの炭素減少率が低い場合に高まる傾向にあった。

幼穂形成期前（6月下旬～7月初旬）における間断灌漑は、土壌還元の発達を抑制し、水稻の生育に有効であった。間断灌漑処理の強度については、作土水分pF1.8以上で効果が高かった。そこで、暗渠排水に対する新たな補助工法である砂充填細溝心土破碎（砂心破）を開発し、細かい排水溝を圃場全体に密に形成した。これにより、湛水期間の縦浸透水量の増加、土壌還元の抑制及び水稻生育改善が認められた。

3. 窒素の施用方法

重窒素標識硫酸を用いた水稻の窒素施肥法に関わる試験を行い、白米タンパク質含有量に及ぼす影響について検討した。全層施肥の窒素利用率は32～41%であり、窒素施肥量の増加とともに白米タンパク質含有量が高まった。全層＋表層施肥は白米タンパク質含有量を低下させるが、全量全層施肥および全層＋側条施肥よりも窒素利用率が低く、収量性が劣っていた。側条施肥の窒素利用率は全量全層施肥より高いが、その吸収は止葉期以前に集中しており、穂および白米への分配率が全量全層施肥と比較して低いことから、白米タンパク質含有量は低かった。全量全層施肥された窒素の次年度以降の利用率は4%以下であり、施肥後3年経過後でも、施肥された窒素のうち20%近くが土壌に残存していた。幼穂形成期～幼穂形成期後7日目の窒素追肥は白米への利用率が小さかった。止葉期の窒素追肥は追肥窒素の利用率および白米への利用率が高く、白米タンパク質含有量を高めることが認められた。出穂期～出穂期後10日目の間で追肥窒素の利用率および白米タンパク質含有量が最も高くなり、それ以降は漸減した。

4. ケイ酸の施用方法

水稻に対するケイ酸の施用効果を検討した。水稻に対するケイ酸施用（基肥および追肥）は不稔発生軽減に効果的であった。特に、ケイ酸追肥区はケイ酸基肥区より止葉期茎部の炭水化物含有量が高く、葯長は長く、不稔の発生を軽減した。葯長と不稔歩合の間には負の相関関係が、葯長と止葉期茎部の炭水化物含有量の間には正の相関関係が認められた。ケイ酸施用は、止葉期稲体中のケイ酸含有量、ケイ酸／窒素比を高めた。止葉期茎部の炭水化物含有量とケイ酸含有量は正の相関関係が、窒素含有量には負の相関関係が認められた。ケイ酸施用により窒素玄米生産効率が高まっており、精玄米収量の増加、白米タンパク質含有量の低下、良質粒歩合の増加や玄米白度の向上が認められた。白米タンパク質含有量の低下は、ケイ酸基肥区と比較してケイ酸追肥区で大きい傾向が見られた。追肥時期は、幼穂形成期と幼穂形成期後7日目の追肥に有意な差を認められないが、止葉期の茎部炭水化物含有量や成熟期茎葉のケイ酸／窒素比の向上、白米タンパク質含有量の低下などで、幼穂形成期後7日目の追肥が幼穂形成期追肥の効果を上回った。施用量については、20～40g m⁻²程度で一定の効果が得られた。

以上のことを整理すると、白米タンパク質含有量に代表される北海道産米の品質の問題は、土壌酸化容量（主に遊離酸化鉄）や可給態ケイ酸肥沃度の不足や、稲わら残渣のすき込みに伴う土壌還元と有害物質生成、窒素吸収時期の遅れなどによる水稻初期生育不足や生育中期の不稔による収量構成要素の不足、生育後期の窒素玄米生産効率の低下などによって引き起こされており、

これらの改善が現状の課題と考えられる。

本試験では、これらに対する対応策を検討し、得られた知見から以下のことを提案する。

- 1) 客土および資材施用による土壌酸化容量（特に遊離酸化鉄）およびケイ酸肥沃度の向上
- 2) 稲わら残渣の浅耕による秋混和处理
- 3) 幼穂形成期前の適度な落水管理
- 4) 排水能の高い心土破碎法の活用
- 5) 窒素施肥における側条施肥の推奨
- 6) 止葉期以降における窒素追肥の中止
- 7) ケイ酸の幼穂形成期後7日目追肥

学位論文審査の要旨

主 査 教 授 大 崎 満

副 査 教 授 荒 木 肇

副 査 助教授 信 濃 卓 郎

学 位 論 文 題 名

北海道における高品質米生産に関する 土壌化学性と合理的施肥法の研究

本論文は 273 頁、図 50、表 43 から構成され、他に参考論文 6 報が添えられている。

北海道における高品質米の生産技術を確立すべく、土壌の化学性・物理性改良と合理的施肥法について研究し、収量を確保しながら白米タンパク質含有量を低下させる機作を解明し、その実用化を成し遂げた。

1. 水田土壌の実態と課題

北海道の水田 1578 筆の作土を採取・分析し、その化学性を評価した。培養ケイ酸は $34\sim 290\text{ mg kg}^{-1}$ の範囲に分布し、平均値 103 mg kg^{-1} であった。また、 100 mg kg^{-1} 以下の不足域にある土壌が 51%認められ、特に台地土系で低い傾向にあった。遊離酸化鉄は $4.2\sim 106\text{ g kg}^{-1}$ の範囲に分布し、平均値 18.6 g kg^{-1} 、46%が診断基準の下限値を下回っており、地域的には中央部太平洋岸で低い傾向にあった。以上のことから、北海道の水田土壌の問題点としては、①低 pH、②ケイ酸供給力の不足、③酸化容量である遊離酸化鉄の不足を明らかにした。

客土およびケイ酸・含鉄資材施用により、水稻体中のケイ酸濃度を高め、白米タンパク質含有量を低下させた。また、土壌の遊離酸化鉄濃度の増加が、根活性の向上と水稻の茎数増加をもたらし、玄米収量の増加とタンパク質含有量の低下が認められた。遊離酸化鉄濃度の適正值に関しては、全硫黄濃度 0.8 g kg^{-1} 以下の水田土壌における遊離酸化鉄の適正水準を 20 g kg^{-1} (Fe/S モル比 10) とした新基準を設定した。

2. 圃場有機物の管理

稲わらを用いた培養試験を行い、嫌氣的分解で生成される土壌中の芳香族カルボン酸

の消長を、温度条件や土壌特性、有機物前歴の観点から検討した。2-フェニルプロピオン酸は、水稻における窒素吸収阻害を引き起こす濃度である $1\mu\text{M}$ 前後まで高まった事例が認められた。この対策として、湛水前の稲わらの好氣的分解を促進することにより、湛水後の分解基質を減少する方法及び湛水期間中における土壌の還元を抑制する技術を検討した。深さ 8cm 程度の浅耕しによる稲わらの秋混和は、春混和（秋散布後、地表面に放置）と比較して冬期間の分解が進み、これに窒素肥料および微生物由来の有機物分解促進資材を、稲わら秋散布時に添加することでさらに促進された。

幼穂形成期前における間断灌漑は土壌還元の発達を抑制し、水稻の生育に有効であった。そこで、暗渠排水に対する新たな補助工法である砂充填細溝心土破碎（砂心破）を開発し、細かい排水溝を圃場全体に密に形成した。これにより、湛水期間の縦浸透水量の増加、土壌還元の抑制及び水稻生育改善が認められた。

3. 窒素の施用方法

重窒素標識硫酸を用いた水稻の窒素施肥法に関わる試験を行い、白米タンパク質含有量に及ぼす影響について検討した。全層施肥の窒素利用率は 32～41% であり、窒素施肥量の増加とともに白米タンパク質含有量が高まった。全層＋表層施肥は白米タンパク質含有量を低下させるが、全量全層施肥および全層＋側条施肥よりも窒素利用率が低く、収量性が劣っていた。側条施肥の窒素利用率は全量全層施肥より高いが、その吸収は止葉期以前に集中しており、穂および白米への分配率が全量全層施肥と比較して低いことから、白米タンパク質含有量は低かった。止葉期の窒素追肥は追肥窒素の利用率および白米への利用率が高く、白米タンパク質含有量を高めることが認められたことから北海道における水稻の窒素追肥を行わない新基準を策定した。

4. ケイ酸の施用方法

水稻に対するケイ酸の施用効果を検討した。水稻に対するケイ酸施用（基肥および追肥）は不稔発生軽減に効果的であった。特に、ケイ酸追肥区はケイ酸基肥区より止葉期茎部の炭水化物含有量が高く、葯長は長く、不稔の発生を軽減した。ケイ酸施用により窒素玄米生産効率が高まり、精玄米収量の増加、白米タンパク質含有量の低下、良質粒歩合の増加や玄米白度の向上が認められた。白米タンパク質含有量の低下は、ケイ酸基肥区と比較してケイ酸追肥区で大きい傾向が見られた。追肥時期は、幼穂形成期後 7 日目の追肥が幼穂形成期追肥の効果を上回った。

以上より、白米タンパク質含有量に代表される北海道産米の品質は、土壌酸化容量や可給態ケイ酸肥沃度の不足や、稲わら残渣のすき込みに伴う土壌還元と有害物質生成、窒素吸収時期の遅れなどによる水稻初期生育不足や生育中期の不稔による収量構成要素

の不足、生育後期の窒素玄米生産効率の低下などによって引き起こされており、これらの改善に対する新たな方策を確立した。

よって、審査員一同は、後藤英次が博士（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。