

(続紙 1)

京都大学	博士（農学）	氏名	廣野 祐平
論文題目	Assessment and mitigation of the environmental impacts of nitrogen fertilizer application in green tea fields (茶園への窒素施肥に起因する環境負荷の評価とその削減対策)		
(論文内容の要旨)			
本論文は、日本における茶生産を対象として、茶園への窒素施肥に起因する環境負荷の評価と、それを削減するための施肥技術の開発を目指したものである。得られた知見を要約すると以下のとおりである。 第1章では、緒論として、農地における窒素循環、茶園における窒素施肥、茶園への施肥に起因する窒素環境負荷に関する既存の文献のレビューを行い、これまでに評価されていない事項や残されている検討事項について整理し、本論文の解決すべき課題を示した。また、それに基づき、以下の3つの研究目的を提示した。 1) 茶園への窒素施肥量の削減により、周辺水系の水質にどのような変化が現れたのかを明らかにする。 2) 茶園土壌の環境要因が、温室効果ガスでありオゾン層破壊物質でもある一酸化二窒素（N₂O）の発生量に及ぼす影響を明らかにする。 3) 石灰窒素やジシアンジアミド（DCD）のような硝化抑制剤の利用による茶園土壌からのN₂O発生量削減効果を評価する。 第2章では、集団的な茶園が広がる静岡県牧之原台地を調査対象地域として、地域レベルでの茶園への施肥窒素量の削減が、周辺水系の水質に及ぼす影響を評価した。16ヶ所の調査地点における10年間の硝酸態窒素（NO₃⁻-N）濃度およびpHの調査結果に、季節変動を考慮したノンパラメトリックトレンド解析法であるSeasonal Mann-Kendall法を適用し、対象地域の水質に見られるトレンドを解析した。その結果、茶園周囲の排水路や浅い湧水をはじめとした多くの採水地点において、NO₃⁻-N濃度に有意な減少傾向が認められた。本対象地域におけるその他の活動量の変化も合わせて評価することで、NO₃⁻-N濃度の減少傾向は地域レベルでの窒素施肥量の削減によるものであることを明らかにした。一方で、pHについては、多くの地点で減少傾向、すなわち酸性化が進んでいることも明らかにした。 第3章では、茶園のうね間と樹冠面の下からの土壌からのN₂O発生量を評価するとともに、土壌水分量、地温、土壌pH、土壌中アンモニア態窒素（NH₄⁺-N）濃度、NO₃⁻-N濃度の変動とN₂O発生量の関係性を評価するために、2年間の圃場試験を実施した。その結果、1年目と2年目の茶園全体からの積算N₂O発生量はそれぞれ10.6と14.8 kg-N ha⁻¹ yr⁻¹であり、樹冠面の下からの発生量は全体の約35%を占めることを明らかにした。このことから、茶園からのN₂Oの総発生量を求めるためには、樹冠面の下からの発生量も無視できないことが明らかになった。また、うね間ではN₂O発生量とNH₄⁺-N濃度との間に、樹冠面の下では地温や土壌水分量との間に強い正の相関が見られたことから、これらの要因がN₂O発生に大きく寄与していることが推察された。 第4章では、茶園からのN₂O発生に及ぼす環境要因をより詳細に調べるために、室内培養実験を行った。まず、土壌水分量と土壌pHの条件を変えて、N₂O発生量に対する硝化および脱窒の寄与を評価した。その結果、土壌水分量の増加とともにN₂O発生量が増加し、硝化の寄与の割合が高まることを明らかにした。また、土壌pHが3.4、4.7、6.3の3条件では、pH3.4のときに最もN₂O発生量が多くなり、pH4.7のときに最も少なくなることを明らかにした。以上の結果から、硝化抑制と酸性矯正が茶園土壌からのN₂O発生量の低減に有効である可能性が示唆された。そこで、次に、硝化抑制剤である石灰窒素とジシアンジアミド（DCD）を土壌に添加して培養実験を行った。その結果、どちらの資材も茶園土壌からのN₂O発生量を削減することが確認できた。ま			

た、効果の持続期間はDCDの方が石灰窒素よりも短いと考えられた。

第5章では、石灰窒素とDCDを実際の茶園に施用し、 N_2O 発生量および窒素動態に及ぼす影響について2年間の調査を行った。その結果、石灰窒素の施用によりうね間土壌からの N_2O 発生量が約51%削減（慣行区 $7.1 \pm 0.9 \text{ kg-N ha}^{-1} \text{ yr}^{-1}$ に対して、石灰窒素区 $3.5 \text{ kg-N ha}^{-1} \text{ yr}^{-1}$ ）されることを明らかにした。一方で、DCD区からの N_2O 発生量は慣行区との間に有意な差が認められなかった。DCDの施用が N_2O 発生量に及ぼす影響は時期によって大きく変動し、稀に慣行区よりも多くなる場合があった。本研究では、茶の収量、全窒素含量に有意な処理間差は認められなかったが、石灰窒素やDCDによる硝化抑制は好アンモニア植物である茶樹の生育にとって好ましいことや、過去の研究事例の結果を挙げ、茶樹の生育にも良い影響を与え得ると考察した。以上のことから、茶園での施肥体系に石灰窒素を取り入れることにより N_2O 発生量の削減と生産性の両立が可能であると考えられた。

終章である第6章では、得られた知見を要約・整理し、茶園への窒素施肥削減は地域の周辺水系の水質改善につながったこと、茶園からの N_2O 発生量は他作物と比較して高い水準にあるものの、硝化抑制や酸性矯正が N_2O 発生量の削減に有効であると考えられ、石灰窒素の利用など効率的な施肥方法を導入することにより、その発生量の削減が可能であることを述べた。また、今後の研究の方向性として、窒素動態のモデル化や窒素動態を駆動する重要な要因である炭素動態と関連づけた評価が必要であることも述べた。

注) 論文内容の要旨と論文審査の結果の要旨は1頁を38字×36行で作成し、合わせて、3,000字を標準とすること。

論文内容の要旨を英語で記入する場合は、400～1,100 wordsで作成し
審査結果の要旨は日本語500～2,000字程度で作成すること。

(続紙 2)

(論文審査の結果の要旨)

20世紀はじめにハーバー・ボッシュ法が開発されたことで、大気中の窒素からアンモニアを効率的に合成できるようになった。この技術で製造された窒素肥料は、農業生産量を増やすことにより世界の人口増加を支えてきた反面、水系の硝酸態窒素(NO_3^- -N)汚染や富栄養化、温室効果ガスでありオゾン層破壊物質でもある一酸化二窒素(N_2O)の発生量の増大など、地球規模の環境負荷を増大させた。現在の窒素利用の水準は地球システムの許容レベルを超える水準に達しており、地域レベルでの窒素利用を最適化し、最終的には全球的な窒素管理へとつなげる取り組みが不可欠である。本論文は、国際的に生産地域が限定されている作物である茶を対象として、茶園への窒素施肥に起因する環境負荷の評価と、それを削減するための施肥技術の開発を目指したものであり、評価できる主な点は以下の通りである。

1. 集団的な茶園が広がる静岡県牧之原台地を調査対象地域として、10年間の NO_3^- -N濃度およびpHの調査結果に、季節変動を考慮したノンパラメトリックトレンド解析法を適用し、茶園周囲の排水路や浅い湧水をはじめとした多くの採水地点において、 NO_3^- -N濃度に有意な減少傾向が認められることを明らかにし、本対象地域におけるその他の活動量の変化も合わせて考察し、 NO_3^- -N濃度の減少傾向は地域レベルでの茶園への窒素施肥量の削減によるものであることを明らかにした点。
2. 茶園のうね間と樹冠面の下からの N_2O 発生量および各種土壌環境要因と N_2O 発生量の関係性を評価し、茶園からの N_2O の総発生量を正しく求めるためには、樹冠面の下からの発生量も無視できないことを示すとともに、うね間では、 NH_4^+ -N濃度が、樹冠面の下では地温および土壌水分量が N_2O の発生に大きな影響を及ぼしていることを明らかにした点。
3. 室内培養実験を行い茶園土壌の各種環境要因が N_2O 発生量に及ぼす影響を評価し、硝化抑制と酸性矯正が茶園土壌からの N_2O 発生量の低減に有効である可能性を示すとともに、硝化抑制剤である石灰窒素とジシアングジアミド(DCD)を茶園土壌に施用することで N_2O 発生量を削減できる可能性があることを明らかにした点。
4. 実験室レベルで得られた効果を圃場試験で確認するために、石灰窒素とDCDを実際の茶園に施用し、 N_2O の発生量および窒素動態に及ぼす影響を評価した。その結果、石灰窒素の施用により N_2O 発生量を大幅に削減できる一方で、DCDの施用が N_2O 発生量に及ぼす影響は時期によって大きく変動することを明らかにし、茶園での施肥体系に石灰窒素を取り入れることにより N_2O 発生量の削減が可能であることを示した点。

以上のように、本論文は、日本における茶園への窒素施肥に起因する環境負荷を評価し、その削減策を提示したもので、水環境工学、地域環境科学、生物地球化学の発展、ならびに地域環境保全の実務に寄与するところが大きい。

よって、本論文は博士(農学)の学位論文として価値あるものと認める。

なお、平成30年9月26日、論文並びにそれに関連した分野にわたり試問した結果、博士(農学)の学位を授与される学力が十分あるものと認めた。

また、本論文は、京都大学学位規程第14条第2項に該当するものと判断し、公表に際しては、当該論文の全文に代えてその内容を要約したものとすることを認める。

注) 論文内容の要旨、審査の結果の要旨及び学位論文は、本学学術情報リポジトリに掲載し、公表とする。

ただし、特許申請、雑誌掲載等の関係により、要旨を学位授与後即日公表することと支障がある場合は、以下に公表可能とする日付を記入すること。

要旨公開可能日： 年 月 日以降 (学位授与日から3ヶ月以内)