

氏 名	パッチャラポーン プーバイブル Patcharaporn Phupaibul
学位(専攻分野)	博 士 (農 学)
学位記番号	論 農 博 第 2597 号
学位授与の日付	平成 18 年 3 月 23 日
学位授与の要件	学 位 規 則 第 4 条 第 2 項 該 当
学位論文題目	Assessment of the impact of intensive farming on the environment under tropical climate: A case study in the Nakhon Pathom Province, Thailand (熱帯への集約農業の導入に伴う環境負荷の評価—タイ国ナコンパトム県の事例研究—) (主 査)
論文調査委員	教 授 關 谷 次 郎 教 授 櫻 谷 哲 夫 教 授 宮 川 恒

論 文 内 容 の 要 旨

タイ国では、近年の経済発展を背景に、野菜・果実・花卉などの園芸作物の国内消費と輸出が増加している。また灌漑・排水設備の整備、化学肥料や農薬の投入など農業の近代化も進められている。一方農家は、高価値園芸作物の導入と集約化あるいは規模拡大による生産性の向上などで近代化に対応している。温帯で発展してきた集約農業は、灌漑などの条件が整えば熱帯地域においても周年栽培が可能になる。しかし粗放農業から周年的な集約農業への移行の過程で環境への負荷が増大し、将来に対して負の遺産となることも予想される。本研究は、バンコク近郊ナコンパトム県の集約農業において、化学肥料の投入が生産物の品質と環境に与える影響を評価することを目的として行われた。その内容は以下の通りである。

1. スパンブリー県からナコンパトム県にいたるターチン川沿いの地域では水田作が広く行われているが、高畝と掘割システムによる畑作物の栽培も行われている。高畝ではニガウリ、タロイモ、サツマイモなどの作物が栽培されてきたが、近年は市場性の高いカイラン、ササゲ、シャロット、トウガラシなどが栽培されている。そこでカイランを栽培している高畝と掘割システムにおける窒素とリンの収支バランスを検討した。カイラン栽培では1作当たり窒素として40-60 kg/ha、リンとして10-20 kg/haの化学肥料が施肥されている。しかし収穫された作物中に回収された窒素とリンはそれぞれ約25%と10%であり、残りの肥料成分は環境中に放出されていることになる。カイランを年に4～5回栽培している農家も多く、環境中に放出される窒素とリンはかなりの量となる。一方高畝土壌のケルダール窒素量は隣接する水田土壌とほとんど同じであったが、硝酸態窒素(10～35 mg N/100 g soil)が高畝土壌で検出された。しかし掘割水のケルダール窒素の値は高かったが、硝酸態窒素は検出限界(0.01 g N/m³)以下であった。ターチン川の硝酸態窒素を2年間にわたり測定したが、硝酸態窒素濃度は通常1.0 g N/m³以下の低い値を示した。これらの結果は、高畝—掘割システムでは水路での窒素の有機化および脱窒活性が高いことを示唆している。高畝土壌の可給態リン(10～138 mg P₂O₅/100 g soil)は、隣接する水田土壌の値よりもかなり高い値を示した。しかしターチン川のリン濃度は低く、河川水中のリンが底土に吸収・蓄積されていることを示唆している。将来河川底土のリンの吸収機構が機能しなくなった時には環境汚染を引き起こすことが予想される。

2. 過剰な窒素肥料施肥下で栽培されていると考えられる葉菜類(カイランとヨウサイ)をバンコク周辺の市場で入手し、硝酸態窒素について分析した。カイラン157試料について硝酸イオン量の平均値は2,700 mg NO₃⁻/kg FW(7,600 mg N/kg DW)となり、葉菜類に対するEU基準を超えていた。またカイランのケルダール窒素量が30 g N/kg DW以上になると、ケルダール窒素量と硝酸イオン量との間に正の相関があることを見出し、葉の窒素量がある一定以上の値になると硝酸イオンの蓄積が始まることを明らかとした。ヨウサイは、タイでは河川水を利用して水耕栽培したものと化学肥料を施肥して土耕栽培したものがある。窒素濃度が低い河川水で水耕栽培したヨウサイと土耕栽培のものを分析すると明らかな差異が認められた。水耕栽培ヨウサイの硝酸イオン量の平均値は1,170 mg N/kg DWであったが、土耕栽培したヨウサイの硝酸イオン量は11,300 mg N/kg DWであった。これらの結果から、可食部の硝酸イオン量はきめ細かな施肥管理を行うことによって制御できることが明らかとなった。

3. ナコンパトム県の西部地域ではサトウキビが主要作物であったが、近年輸出用のアスパラガスの作付け面積が急速に拡

大しつある。アスパラガス栽培の施肥が環境に与える影響を評価するために、アスパラガス生産に取り組んでいる村をモデルとして取りあげ解析した。この村の周辺には古い川に由来する三日月湖が点在しており、アスパラガスは氾濫原や河岸段丘の畑で栽培されている。アスパラガスの栽培は周年的に行われており、年に4回収穫が可能である。アスパラガスの収穫量、植物中の窒素とリン含有率などを分析してアスパラガスに吸収された窒素とリンの量を計算し、窒素とリンの施肥量（窒素840 kg N/ha/year, リン640 kg P₂O₅/ha/year）と比較すると、施肥した化学肥料に由来する大量の窒素およびリンが環境中に残存することが明らかとなった。アスパラガス畑およびサトウキビ畑の土壌中の窒素およびリンの分析結果は、ケルダール窒素、アンモニウム態窒素、亜硝酸態窒素に関しては両畑間でほとんど差がないことを示しているが、硝酸態窒素はアスパラガス畑でその量が多いことが判明した。リンの蓄積に関してもアスパラガス畑の表層で高いことがわかった。高度化成肥料が主に施肥されているので施肥された窒素とリンの比率は一定であるが、土壌中の硝酸態窒素量はリンの残存量から推定される値よりもかなり少なかった。これは施肥された窒素成分が溶脱あるいは脱窒などにより土壌中から消失したことを意味している。溶脱の可能性を検討するため、複数地点の井戸水を定期的に分析したが、ほとんどの井戸水は硝酸イオンで汚染されており、WHOの飲料水に対する硝酸イオン濃度の許容量を越えていた。三日月湖の水位は地下水位とある一定の平衡関係にあると考えられるが、硝酸イオンは検出されなかった。従って硝酸態窒素はアスパラガス畑からより深部の地下水に溶出した可能性あるいは溶出後土壌表層近くでバイオマスに再固定された可能性が考えられる。脱窒の可能性も除外できず、今後溶脱と脱窒について詳細な定量的解析が必要とされる。

論文審査の結果の要旨

タイ国では、近年農業の近代化が進み、都市近郊農家は高価値園芸作物の導入と集約化あるいは規模拡大による生産性の向上を指向している。集約的な農業の導入は、灌漑などの条件が整えば周年栽培が可能になるが、化学肥料の大量使用などにより環境への負荷が増大することが予想される。本論文は、バンコク近郊の集約農業において化学肥料の投入が生産物の品質と環境に与える影響を検討することを目的として行われた一連の研究の成果を取りまとめたもので、評価される主な点は以下の通りである。

1. スパンブリー県からナコンパトム県にいたるターチン川沿いの地域では高畝と掘割システムによる畑作物の栽培が行われている。カイランを栽培している高畝と掘割システムにおける窒素とリンの収支バランスを解析し、収穫した作物中に回収された窒素とリンの割合は施肥量に対しわずか25%と10%であることを明らかにした。残りの肥料成分は環境中に放出されていることになる。高畝土壌中のケルダール窒素量は隣接する水田土壌とほとんど同じであったが、硝酸態窒素が検出された。掘割水の硝酸態窒素は検出限界以下であり、ターチン川の硝酸態窒素量も低かった。これらの結果から、高畝と掘割システムの水路中では窒素の有機化および脱窒が行われていることを指摘している。また高畝土壌中の可給態リン量は隣接する水田土壌中の値よりもかなり高い値を示したのに対し、ターチン川のリン濃度はかなり低かったことから、河川水中のリンがすでに底土に吸収・蓄積されはじめていることを予測している。
2. 過剰な窒素肥料施肥下で栽培されていると考えられる葉菜類（カイランとヨウサイ）を市場で入手し、硝酸態窒素について分析したところ、カイランではEU基準を超過する硝酸態窒素が検出された。硝酸態窒素の蓄積についてさらに検討し、ケルダール窒素量が30 g N/kg DW以上になるとケルダール窒素量と硝酸イオン量との間に正の相関関係があることを見出し、葉の窒素濃度と硝酸イオン蓄積の関係を明らかとした。ヨウサイは、河川などで水耕栽培したものと化学肥料を施肥して土耕栽培したのものがあるが、窒素濃度が低い河川水で水耕栽培したヨウサイの硝酸態窒素量は土耕栽培のそれよりはるかに低い値を示すことを見出した。これらの結果から、葉菜類の可食部の硝酸イオン濃度はきめ細かな施肥管理によって制御できることを明らかにした。
3. ナコンパトム県の西部地域では、主要作物であるサトウキビに代わって輸出用のアスパラガスの作付け面積が拡大している。アスパラガス栽培の施肥が環境に与える影響を検討するために、アスパラガス生産に取り組んでいる村をモデルとして取りあげ解析している。施肥量、収穫量、植物中の窒素とリンの含有率などから計算して、施肥した化学肥料に由来する大量の窒素およびリンが環境中に残存することを明らかにした。詳細な検討の結果、アスパラガス畑の硝酸態窒素量が高いこと、またリンの蓄積もアスパラガス畑の表層で高いことがわかった。窒素とリンの比率が一定である

高度化成肥料を施肥しているが、土壌中の硝酸態窒素量はリンの残存量から推定される値よりもかなり低く、施肥された窒素成分が溶脱あるいは脱窒などにより土壌中から消失した可能性を指摘している。村内の複数地点の井戸水を定期的に分析したところ、ほとんどの井戸水が硝酸イオンで汚染されており、アスパラガス畑から窒素成分の溶脱が起こっていることを証明した。周辺に点在する古い河川に由来する三日月湖の水位は地下水位と平衡関係にあると考えられるが、硝酸イオンは検出されなかった。この結果から硝酸態窒素はアスパラガス畑からより深部の地下水に移行したか、あるいは溶出後土壌表層近くでバイオマスに再固定された可能性を指摘している。今後施肥による環境への負荷を軽減するため、溶脱、脱窒、有機化について定量的な解析を行うことの必要性を強調している。

以上のように、本論文は、熱帯における集約農業の導入に伴う化学肥料の使用が環境に与える影響、特に施肥窒素の環境への放出とその動態を明らかにしたものであり、土壌肥科学、環境科学、食品安全学など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18年2月13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。