

氏 名	鎌 田 淳
学位(専攻分野の名称)	博 士 (農芸化学)
学 位 記 番 号	乙 第 904 号
学 位 授 与 の 日 付	平成 27 年 3 月 20 日
学 位 論 文 題 目	埼玉県における農耕地土壌の現状と施肥改善に関する研究
論 文 審 査 委 員	主査 教 授・農学博士 後 藤 逸 男 教 授・農学博士 前 田 良 之 教 授・博士(農学) 高 橋 久 光 准 教 授・博士(農学) 小 塩 海 平

## 論文内容の要旨

農産物の大消費地である首都圏から 100km 圏内に位置する埼玉県では、地理的条件を活かした多彩な農業生産が行われている。その中でも野菜部門の農業産出額は全国 6 位に位置し、ネギは 2 位、ブロッコリーは 3 位など上位を占める品目が多く、新鮮な農産物を供給する役割を担っている。ところが、県北のブロッコリーを主軸とする露地野菜地帯では、2004 年頃よりブロッコリーの花蕾部が黒変して商品価値を喪失するブロッコリー花蕾黒変症が多発して大きな問題となった。その直接的な発生原因は、べと病菌 (*Peronospora parasitica*) の感染によるべと病であることが知られている。しかし、発病に至る機作やその対策については、明らかになっていない。なお、キャベツやメロン、タマネギなどのべと病に関しては、植物体中の窒素過剰が発病率や病斑面積率を高めることが知られている。

一方、県北の米・麦二毛作地帯では水田裏作として麦作が盛んであり、小麦の生産額は全国 7 位と北関東における麦主産地を形成している。この地域では水稻を収穫後、直ちに麦を播種することから、土づくりの基本である有機物を投入する時期がなく、施肥法の改善が求められていた。

そこで、本研究では、埼玉県における農耕地土壌の理化学性に関する現状を明らかにした上で、ブロッコリー花蕾黒変症の原因と対策、および米・麦二毛作地帯で発生する作物栽培上の問題について、土壤肥料的な立場から検討した。そして、それらの結果に基づいた新規肥料の開発や施肥技術の改善を図った。

本研究は、1994 年～2013 年にかけて埼玉県における農耕地土壌の経年変化と生産現場で発生した諸問題について、施肥改善技術を中心にまとめたもので、第 1 章の序論から第 5 章の総合考察で構成されている。第 1 章では、埼玉県における農耕地土壌の概要と背景について記

述した。第 2 章では、埼玉県の黒ボク土における可給態窒素の簡易測定法についてまとめ、第 3 章ではブロッコリー花蕾黒変症の発現機作と抑制対策について記述した。第 4 章では、米・麦・特用作物の新規肥料について、生ごみ堆肥の開発と小麦の品種転換に伴う専用肥料と施肥基準の作成、そしてアミノ酸を配合した肥料の試作についてまとめた。第 5 章では、総合考察の中で、研究成果と埼玉農業に対する貢献を論じた。本研究の概要は、以下のとおりである。

### 1. 埼玉県における農耕地土壌の現状

埼玉県の農耕地は総面積約 78,000ha に及び、西部の山岳地帯 (ポドゾル土 0.9%)、中部の丘陵地 (褐色森林土 49.0%) と台地 (黒ボク土 16.9%) そして、東部の低地 (褐色低地土 3.9%, 灰色低地土 12.6%, グライ土 11.2%, 泥炭土 4.7%) に区分される。1994 年より、埼玉県における農耕地土壌の現状を把握する目的で、183ヶ所 (水田 98ヶ所, 露地畑 62ヶ所, 樹園地 23ヶ所) の定点での土壌診断調査を実施し、各地点より土壌を採取した。それらの分析値を地力保全基礎調査のデータ解析法に基づいて、箱ひげ図を作成した。

水田土壌の可給態窒素 (中央値: 12.7mg/100g) は、畑土壌 (中央値: 6.0mg/100g) に比べて約 2 倍であったが、地力増進基本指針に基づく可給態窒素の改善目標値 (水田: 8～20mg/100g) の範囲内であった。水田土壌の腐植 (中央値: 4.7%) は、畑土壌 (中央値: 5.1%) に比べて少なかった。栽培農家を対象にした肥培管理アンケート調査の結果、畑地における堆肥の施用量が平均 1.8t/10a であったのに対して、水田では 0.6t/10a と少ないことが影響していた。一方、畑土壌の有効態リン酸 (中央値: 106mg/100g) は、水田土壌 (中央値: 19.2mg/100g) に比べて約 5.5 倍に達し、リン酸の改善目標値

(黒ボク土：10～100mg/100g)を上回っていた。また、畑土壌の交換性カリ（中央値：54.9mg/100g）は、水田土壌（中央値：26.1mg/100g）に比べて約2.1倍で、カリの改善目標値（黒ボク土：20～35mg/100g）を超過していた。土壌診断と肥培管理アンケート調査の結果、畑土壌では集約的な露地菜地帯を中心に家畜糞堆肥や肥料の過剰施用によるリン酸・カリの蓄積が認められ、Mg/K当量比も改善目標値である2以上に満たない圃場が多かった。一方、堆肥を施用する時期がほとんどない米・麦二毛作地帯の腐植（中央値：2.3%）は、他の水田地帯（中央値：3.2%）に比べて少なかった。炭素固定事業によるアンケート調査の結果、米・麦二毛作地帯では水田に堆肥を施用する農家がなかったのに対して、近隣の水田単作地帯では、平均0.7t/10aであった。

本調査の結果、畑地では土壌診断に基づく適正な肥培管理により可給態リン酸と交換性カリの過剰蓄積、塩基バランスの崩れを是正し、土壌養分環境の改善を図る必要がある。一方、水田では現状の米麦二毛作体系の中で、土壌へ有機物をどのように補給し、地力の維持増進を図るかが、今後の課題として浮上した。

## 2. ブロッコリー花蕾黒変症の発現機作と抑制対策

### (1) ブロッコリー花蕾黒変症の発現機作

県北の上里町・熊谷市・深谷市・本庄市を中心とするブロッコリー産地では、花蕾内部が黒変したり、分枝部周辺で薄墨色の斑点を生じたりする花蕾黒変症が多発した。本症状の発症は、ブロッコリーの商品価値を著しく低下させ、2005年頃から収穫皆無になる圃場も散見された。このブロッコリー花蕾黒変症は、約10年前から神奈川県・群馬県・千葉県や西日本の岡山県・香川県・鳥取県等でも確認され始めた。海外では、1951年にアメリカのカリフォルニアで栽培されたブロッコリー（品種：Waltham29）で、本症状と類似する報告があり、花蕾部の外側と内部組織がべと病によって変色し、甚大な被害を受けた。その後、花蕾黒変症の褐変範囲がべと病菌の侵入した幅や深さに限定されることや、葉部に形成された病斑は花蕾黒変症の直接的な要因にならないことが報告された。しかし、ブロッコリーの花蕾黒変症に関する研究事例は極めて少なく、特に生産現場における発現機作は明らかでなかった。そこで、本研究では花蕾黒変症に関する再現試験とブロッコリーの生育障害を回避するための施肥技術及び新肥料の開発を行い、それらを生産現場に導入した。

先ず、花蕾黒変症の多発地域において、土壌診断調査と施肥管理に関するアンケート調査を行った。その結

果、多発地域での平均施肥量は、窒素15kg/10a、リン酸19kg/10a、カリ11kg/10aであったが、その他に年間6t/10a程度の牛糞堆肥を12年間連用していた。一方、無発症地域における堆肥の平均施用量は約1.3t/10aと、多発地域に比べて明らかに少なく、圃場の交換性カリ含量も約50mg/100gであった。これに対して、多発地域では約120mg/100gの交換性カリが蓄積しており、ブロッコリー葉部の無機成分分析を行った結果、カリは2.1%と対照区に比べて約1.4倍多く、逆に石灰は1.3%と対照区に比べて約1/3に過ぎなかった。この現象はブロッコリーへのカリの贅沢吸収（過剰）に伴う石灰との拮抗作用により、ブロッコリーの石灰吸収が抑制されたことに起因すると考えられた。

これらの結果、葉部の石灰欠乏に伴う褐変や水分代謝の異常等によって、べと病の発生を助長させ、花蕾黒変症の発現を生じたと考えられた。そこで、交換性カリ72mg/100gのコンクリート枠圃場でブロッコリーを栽培した。定植46日後、葉部にべと病菌分生胞子を接種した結果、40日後に花蕾黒変症の発症が確認できた。すなわち、ブロッコリー花蕾黒変症には土壌中の交換性カリ過剰が間接的な原因であると結論された。

### (2) ブロッコリー花蕾黒変症抑制対策

#### ①ブロッコリーに対する施肥基準の改定

埼玉県では、平成9年から「彩の国有機100倍運動」を展開し、地域の有機資源の活用や環境保全型農業の推進を図っている。この間、化学肥料や家畜糞堆肥の多施用に由来する土壌養分の蓄積や硝酸態窒素の地下水汚染問題等の課題が浮上した。これまで、家畜糞堆肥は土づくり資材として施肥に上乘で施用される事例が多かった。そこで、土壌診断調査（1994～2013年）と県内JAによるブロッコリー栽培土壌の養分実態調査（n=2275点）から、生産現場の土壌診断の指針を再解析した。さらに、主要品種（改良緑炎・沢ゆたか・しげもり・ピクセル）の作型・施肥量そして養分吸収試験（2005～2010年）を実施し、秋冬ブロッコリーの窒素・リン酸・カリを従来の施肥基準値に比べて、約3割削減した新しい施肥基準（N：P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>：K<sub>2</sub>O=14：14：14）を設定した。また、堆肥施用量を年間3t/10aまでとして、基肥には緩効性肥料を使用することを県の施肥基準として、JA榛沢のブロッコリー栽培歴に追記した。その結果、ブロッコリーの花蕾黒変症は現地で発生していない。

#### ②ブロッコリー栽培における新規施肥技術の確立

ブロッコリー花蕾黒変症の発生を抑制するには、根本的な施肥改善が不可欠である。上記の新規施肥基準に従い、ブロッコリー栽培時に堆肥を3t/10a施肥すると、

リン酸 18kg, カリ 30kg/10a 程度の養分が供給される。また、土壌中には多くのリン酸とカリが蓄積するので、窒素主体の施肥とすることが望ましい。そこで、肥料メーカーとタイアップして、リン酸とカリをほとんど含まない被覆燐硝安肥料 ( $N : (P_2O_5 : K_2O) = 24 : 1 : 1$ , 100 日) を試作した。本肥料中の窒素は 100 日タイプのシグモイド型被覆肥料であり、施用初期には窒素がほとんど溶出しにくい。この特性を利用して、基肥全量をプラグ育苗のための育苗培土中に施用する育苗セル内全量基肥法について検討した。その結果、窒素施肥量を慣行(改定前の施肥基準は 18kg/10a)の半量にすることができた。また、その栽培法により土壌に残存するリン酸を年間で約 4kg/10a, カリを約 20kg/10a 吸収利用することを確認した。なお、このセル内全量基肥法は中生から中晩生品種まで適応でき、圃場における追肥を省略しても慣行追肥区並の収量・品質を確保できることが明らかになった。ただし、外気温が 35℃ 以上になる育苗場所では、肥料成分の溶出に伴う徒長苗や根鉢形成の抑制が散見された。そこで、甜菜の健苗育成法である接触刺激(苗の地上部がねる程度の刺激を 1 日 2 回, 14 日間実施)を併用処理した結果、苗質や根鉢形成が改善され、セル内全量基肥法の安定栽培につながった。

一方、県北深谷市人見地区はブロッコリー収穫後の秋冬ネギ主産地である。従来野菜の 2 作連続栽培により施肥量が高み、浅層地下水の硝酸性窒素汚染をもたらしていた。そこで、秋冬ネギの養分吸収に合う圃場施肥型の緩効性肥料(被覆尿素 140 タイプ 50% + CDU 30% + 化成肥料 20%,  $N : P_2O_5 : K_2O = 18 : 13 : 11$ )を用い、慣行施肥量の 10~20% 減肥栽培を 10ha 規模の実証圃で実施した。また、圃場内に深さ 3m の観測井戸を 5 カ所設置し、浅層地下水の硝酸態窒素の推移を 7 年間調査した。その結果、ネギの生育・収量は慣行区と同等であった。慣行施肥区における地下水中の硝酸性窒素は 20~70mg/L (平均 52mg/L) であったが、施肥改善区では環境基準値である 10mg/L 以下となった。

以上の結果、県北のブロッコリー産地で蓄積する窒素・リン酸・カリ成分の低減化を図るには、これらの肥料成分をほとんど含まない緩効性肥料を用いたセル内全量基肥法が、また、ブロッコリー収穫後に秋冬ネギを生産する地域では、ネギの養分吸収に合う緩効性肥料の基肥施肥が有効で、省力化と共に地下水の硝酸性窒素濃度低減に役立つことが明らかになった。

### 3. 米・麦二毛作地帯における新規肥料の開発と施肥改善

#### (1) 米・麦二毛作地帯における土壌への有機物補給対策としての生ごみ堆肥の開発と実用化

埼玉県では、県北部の寄居町に食品系廃棄物等の資源循環を目的とする「彩の国資源循環工場」が 2005 年から稼働しており、県内で発生する食品系廃棄物の堆肥化による農業利用が図られている。本研究では、有機物の投入量が少ない二毛作地帯を対象に、県内で発生する食品残渣に米ぬかや乾燥菌体を混合して堆肥化した新たな生ごみ堆肥「彩の国食品系エコペレット」( $N : P_2O_5 : K_2O = 4 : 2.6 : 1.6$ )の開発を行い、水田土壌における施肥法と水稻に対する施用効果を検証した。この「彩の国食品系エコペレット」の特徴は、埼玉県内の食品工場などから収集した野菜屑などの食品残渣を主原料とすること、「エコペレット」肥料で栽培された農産物を再び野菜屑を排出した店舗で販売する「リサイクルループ」が形成されている点である。

本肥料は肥料取締法上、特殊肥料(特肥第 807 号)に区分されるが、従来品に比べて窒素無機化率が高く、肥料としての効果も期待できる。湛水条件下における「エコペレット」の窒素・炭素分解率は、埋設 120 日目の灰色低地土で約 40%, グライ土で約 50% そして水田転換畑の褐色低地土では約 60% と同様に推移した。この「エコペレット」を水稻の基肥として 200~250kg/10a 施用した結果、既存肥料(基肥窒素 5kg/10a)と同等の生育・収量及び玄米蛋白等の外観品質が得られ、出穂期以降の根の活性も高まった。なお、エコペレット 250kg 中の炭素量は堆肥の 400kg/10a に相当する。

#### (2) 米・麦二毛作地帯における小麦品種転換に伴う施肥基準の策定

本県熊谷市・上里町などを中心とする米・麦二毛作地帯における小麦の生産量は全国 7 位であり、北関東の麦主産地となっている。当地域では小麦「農林 61 号」を奨励品種に採用して以来、約 70 年経過するが、小麦作付面積(5,500ha : 平成 24 年)の 7 割以上を占めている。しかし、近年の温暖化(暖冬や集中豪雨等)の影響により、収量や品質面が不安定になっており、生産者や実需者からは栽培技術の早急な改善が求められていた。

そこで、本研究では秋播性を有する小麦新品種「さとのそら」の施肥基準の策定と専用肥料の開発を 2009~2013 年に実施した。「さとのそら」の茎立期以降における窒素吸収量は、「農林 61 号」より 2~4kg/10a 多いため、追肥時期を検討した。その結果、茎立期の追肥では有効穂数、茎立~出穂期の追肥では窒素吸収量が増加し



た。また、出穂期の追肥では千粒重や玄麦蛋白含量が高まることが明らかになった。これらの窒素吸収特性から、「さとのそら」の施肥基準を新たに設定した。すなわち、基肥窒素を 8kg/10a として、茎立～出穂期に 4 kg/10a の窒素を追肥する。リン酸とカリについては、基肥窒素と同様にすることで収量・品質が維持されたことから、12kg/10a とした。次に、省力化を図る目的で肥効調節型肥料の利用について検討し、全量基肥型の「さとのそら」専用肥料が米・麦二毛作地帯を中心に利用されている。

#### 4. まとめ

埼玉県内 183ヶ所の土壌診断調査から、県北部の露地野菜地帯では有効態リン酸や交換性カリ等の土壌養分が適正値を超過しており、過剰養分による拮抗作用や生理障害を確認した。一方、米・麦二毛作地帯では腐植含量が少なく、作付け体型上、有機物を施用できる時期がほとんどないことに起因することを明らかにした。

そこで、本研究では；

- (1) 生産現場における土壌診断と肥培管理の重要性に着目し、土壌養分を適正な範囲に維持する施肥基準・施肥技術そして新規肥料の開発を行った。

- (2) その中で、本県のブロッコリー主産地で発生した花蕾黒変症の原因がカリ過剰であることを明らかにすると共に、施肥改善のための対策技術を確認した。その対策技術を導入後 7 年経過した現在でも、その効果は継続している。

- (3) 米・麦二毛作地帯を対象にした「彩の国食品系エコペレット肥料」の研究・開発では、新規肥料を開発した。本肥料は肥料取締法上、特殊肥料（特肥第 807 号）に区分され、県内の食品工場等から排出される野菜屑などに米ぬか・乾燥菌体肥料を混合して「彩の国資源循環工場」で堆肥化後、製品化した。

- (4) 本肥料は、有機物の投入量が少ない米・麦二毛作地帯を中心に、水稻の基肥用として流通している。

- (5) 従来の小麦品種「農林 61 号」から「さとのそら」への変換を進める一環として全量基肥型の小麦「さとのそら」専用肥料を新規開発した。この肥料は同地域において、年間数百トン規模で利用されていて、生産現場における省力・安定栽培に貢献した。

本研究で明らかにした新知見や新技術が、埼玉県農業をはじめ土壌養分が蓄積する生産現場の施肥改善技術として役立つことを期待したい。

### 審査報告概要

首都圏へ供給する農産物生産地として重要な埼玉県において、施設を除く 183ヶ所の農地で土壌診断調査を行った。その結果、露地野菜畑では有効態リン酸や交換性カリの過剰、その一方米麦二毛作地帯の水田では、腐植含有量の欠乏が認められた。

埼玉県北部や全国のブロッコリー産地で多発するブロッコリー花蕾黒変症の発症要因を解明するための 2,000ヶ所以上におよぶ土壌診断調査や再現試験を実施した。その結果、ブロッコリーへのカリの贅沢吸収に伴う石灰欠乏に起因することを明らかにした。また、その対策として施肥量の 30% 削減、堆肥施用量の上限を 3 t/10a とする新施肥基準を設定した。さらには、被覆燐硝安肥料を主原料とする L 字型肥料を用いた育苗セル内全量基肥法を確立した。それらの対策を講じた 2008

年以降、埼玉県内では花蕾黒変症が発生していない。

腐植が欠乏する米麦二毛作地帯の水田に対しては、生ごみと菌体肥料を原料とする新規生ごみ堆肥（特殊肥料）を開発して、その普及に努めた。その肥料を水稻の基肥として 200～250 kg/10a 施用した結果、既存肥料と同等の生育・収量および玄米蛋白等の外観品質が得られた。

その他、本研究で得られた成果は、埼玉県だけでなく全国の農耕地における土壌養分の適正化とそれに伴う農業生産性の向上、肥料資源の節約、さらには環境保全にも貢献できる。

よって、審査員一同は博士（農芸化学）の学位を授与する価値があるものと判断した。