

論文の内容の要旨

氏名：ASAFOR HENRY CHOTANGUI

博士の専攻分野の名称：博士（生物資源科学）

論文題名：Agro-ecological Evaluation of Intensive Cropping Systems of Leafy Vegetables for Sustainable Development（持続的発展のための葉菜類の集約的作付体系の農業生態学的評価）

わが国の集約的な野菜生産は日本中央部の火山山麓傾斜地に展開してきた歴史をもつ。代表的な地域は八ヶ岳、浅間、富士および乗鞍山麓である。これらの地域は1961年に制定された農業基本法により農業技術の近代化と農産物の選択的拡大が推進され、集約的な野菜生産地として発展してきた。本研究の対象である八ヶ岳東山麓の野辺山地域は夏季の冷涼気候を活かした夏秋野菜の一大産地に成長し、基幹作物のハクサイ、キャベツならびにレタスが集約的な作付体系で生産されている。過去、同一作物の連作や2毛作に伴い連作障害、特に土壌伝染性病害虫であるハクサイの黄化病、アブラナ科野菜の根こぶ病、レタス根腐病、レタスのキタネグサレセンチュウの被害が多発し、葉菜類の生育が阻害され、それを回避するために過剰の化学肥料が使用され、塩基バランス、酸性化、塩類集積など土壌の化学性の悪化を招くことになった。その後、農薬、土壌診断技術、施肥法の改善等の技術開発により、これら土壌伝染性病害虫の被害や養分障害は顕在化してはいないが、その潜在的リスクは葉菜類の安定生産において避けられないのが現状である。

そこで、本研究においては、長野県野辺山地域の葉菜類生産農家を対象に、①総合的な養分管理技術の診断と評価、②生産農家の圃場レベルの硝酸態窒素の溶脱量の推定、③総合的な病害虫管理技術の診断と評価を行い、それら技術の農業生態学的評価を基に、葉菜類の集約的作付体系の持続的な発展を支援するチェックリストを作成することを目的とした。

1. 研究方法

調査対象は長野県南佐久郡南牧村と川上村の中・小規模の3専業農家（以下農場A, B, Cと略称）と信州大学農学部附属アルプス圏フィールド科学教育研究センター（同AFCと略称）とし、各農場の代表的3圃場、計12圃場を選定した。調査圃場は標高1,240~1,370m、4.5km四方に分布し、年平均気温は6.9℃、土壌群は黒ボク土に属する。基幹作物はレタス、ハクサイおよびキャベツである。研究手法は栽培期間中の投入技術、圃場と作物生育の観察、土壌養分（窒素、リン酸、カリ、石灰、苦土）のモニタリングならびに技術とその効果、経済的な指標、さらには生産者の農業生態系への意識等を冬期間に聞き取り調査した。

これら4つの農場は抵抗性品種の利用、堆肥、土壌改良資材と化学肥料の種類と施用量、土壌管理法、病害虫防除法などが異なり、持続的な生産技術の調査・研究に最適であると判断された。

2. 土壌窒素収支推定システムの開発と評価

本システムは畑作の合理的な施肥法を支援する目的で、土壌中の窒素収支を評価し、硝酸態窒素溶脱量を推定するプログラムである（菅原ら、2003）。本研究に使用する上で、黒ボク土において実施された長期作付体系試験の中で、硝酸態窒素の溶脱量が測定された試験より、気象条件、土壌管理法、作付作物の異なる北海道網走（鈴木・志賀、2004）、茨城県水戸（小川ら、1979）および宮崎県都城（小林ら、1995）の公表データを使用して性能評価を行った。本システム改良の特徴はエクセルで操作ができ、アメダス地点と評価期間の入力により、気象データを自動的に取得し、無機態窒素の投入量（化学肥料量、土壌と堆肥の無機化窒素量、残存無機態窒素量）から搬出量（作物吸収量）を差し引いて窒素収支を求め、土壌中への浸透水量と溶脱係数を基に溶脱量を推定するものである。

網走と水戸においては、良好な適合度（低い相対平均平方誤差）と精度（ $R^2=0.57, 0.93$ ）を示した。推定溶脱量の推移は3地点における窒素施用量の異なる処理区の観測値の推移とほぼ一致した。都城における堆肥の長期連用試験では、推定溶脱量の推移は過大評価後に過小評価となり、推定精度は $R^2=0.30$ であり、堆肥の連用効果を考慮しない弱点も明らかになった。推定された土壌残存無機態窒素量は作物吸収量ならびに溶脱量の推定値と観測値に関連することが網走と水戸で示された。また月別溶脱量を推定する手法を

考案したところ、3月～4月、6月～7月、そして9月～10月にピークがみられ、合理的な施肥法を支援するツールとしての有用性が示唆された。

以上より、窒素施肥量の多い処理区における適合度の指標である相対平均平方誤差と推定精度の結果から、本システムは本研究において溶脱量推定に利用できるものと判断された。

3. 総合的養分管理技術の診断・評価と硝酸態窒素の溶脱量の推定

総合的養分管理技術は土壌資源である有機物、無機物や生物的要素由来の養分を有効に活用して、安定した生産量と品質を維持するための最適な養分供給技術を示す。4農場12圃場の堆肥・化学肥料の施肥量、収穫物と残渣の養分吸収量、土壌の物理・化学性を経時的に調査し、土壌肥沃度維持の指標を評価した。土壌は2011年秋から施肥前の春と収穫後の2013年秋までに表土(0-10cm)と下層土(40-50cm)から採取した。また、土壌窒素収支推定システムの現場評価のため、電気伝導度(EC)、土壌温度と土壌水分を計測できるセンサ(5TE, Decagon Device Inc.)を表土(10-15cm)と下層土(40-50cm)に設置し、10分間隔でデータを取得し、地上部植物体とセンサ設置深の土壌と植物体を定期的に採取した。

表土の石灰と苦土含有量は全農場で長野県の土壌診断基準に適合したが、リン酸とカリの含有量はやや高かった。土壌pHは全農場で適正に管理されていた。表土の炭素含量は堆肥施肥量の少ない農場では他に比べ有意に低かった。窒素施肥量の多い農場では、収穫後の表土の残存無機態窒素量が他に比べ高かった。また、土壌肥沃度の指標となる土壌炭素と窒素の変動が調査期間中で小さい農場が存在した。窒素、リン酸、カリ、石灰と苦土の吸収量を代表的圃場の作物間で比較すると、レタス:87, 43, 248, 42, 17 kg/ha, ハクサイ:327, 126, 450, 281, 50 kg/ha, キャベツ:175, 87, 201, 242, 51 kg/haとなり、レタスは窒素とリン酸、ハクサイとキャベツは窒素、リン酸、カリと石灰の吸収量が多い特徴を示した。

5TEセンサのモニタリングは作付期間中から冬期間も含めて実施した。センサのEC値と土壌中の硝酸態窒素含量との間には有意な正の相関関係がみられ、それを基に表土と下層土の硝酸態窒素の動態が把握できた。硝酸態窒素の溶脱はマルチ敷設後から定植後、収穫後の残渣分解時期から根雪前、そして融雪時期の3時期に生じたとみられる。センサによる土壌水分の推移ならびにアメダス野辺山地点の降水量、FA0基準蒸発散量とポテンシャル蒸発量に基づいて土壌中への浸透水量を推定した。窒素の収支と溶脱量を2012年5月から2012年収穫までと2012年4月から2013年収穫までの2期間について評価した。施肥した無機態窒素量の他、土壌の無機化窒素量は9-46kg/ha、堆肥の無機化窒素量は8-57kg/haと推定され、硝酸態窒素の溶脱量は0-72kg/haの圃場間差が認められた。農場間で比較すると、総合的な養分管理技術を実践する農場Aにおける硝酸態窒素の溶脱量と残存無機態窒素量は0-37 kg/ha, -47-74kg/haを示し、他に比較して低い水準であった。

この農場Aは30年前から牧草・緑肥作物との輪作、暗渠排水の整備、客土による圃場傾斜度(3%)の改善、堆肥施用40t/ha、硝酸化成抑制剤ジシアングリアミド添加肥料・緩効性肥料・被覆肥料による無機態窒素の供給、スタブルカルチによる排水性向上と春の降雨による侵食防止、土壌の生物性改善資材の施用等で総合的な養分管理を実施している。

4. 総合的な病害虫管理技術の診断と評価

病害虫の総合防除技術は対象作物と対象病害虫で異なるため、レタス、ハクサイ、キャベツの各農場の薬剤防除体系を調査・分析し、生育期間中には土壌管理に加えて、雑草の管理、収穫方法と残渣管理法、日別出荷箱数とその品質規格データなどについて分析した。その結果、農場Aのレタスとハクサイの管理技術がひとつのモデルとして抽出された。

レタスの主要病害は菌類病(根腐病、菌核病、灰色かび病、すそ枯病)、細菌病(腐敗病、斑点細菌病、軟腐病)、害虫はアブラムシ類、ナモグリバエ、チョウ目(ヨトウムシ、オオタバコガ、ウワバ)、キタネグサレセンチュウである。菌類病には治療剤3種類の有効成分を、また細菌病には予防剤2種類と治療剤1種類の有効成分を混用して散布する体系であった。また、害虫のアブラムシ類とナモグリバエには6種類の有効成分、チョウ目には3種類の有効成分を散布する体系であった。これにより2012年と2013年の圃場観察では主要病害虫はほぼ完全に防除されていた。また根腐病、黄化病、根こぶ病とセンチュウへの対応は抵抗性品種の利用以外に特段の対応はしない。根こぶ病の発病調査でも発病は認められなかった。

生育期間中の管理としては、黄色粘着テープによるナモグリバエの発生観察、雑草防除の徹底(通路の

緑肥栽培，薬剤散布効率を高める手取り除草など），収穫方法は2度切りして残渣の乾燥を促進し，迅速なマルチ除去と乾燥残渣の鋤き込みなど，圃場衛生管理が徹底されていた。

この農場のレタスの生産を2010～12年でみると，収穫面積は2.2ha，出荷10kg箱数11,000，収量5,000箱/haで年変動はほとんどなかった。また，コンテナ5kg箱を換算して加えた出荷10kg箱数は14,300～15,100箱で，販売価格の最も高いL規格の割合は83～98%であった。特に，2011年は夏の長雨により，8月下旬以降病害虫の多発と生育障害により多くの農家の出荷箱数が激減した時も，安定的に高品質のもの（出荷10kg箱数14,600，L規格割合86%）が出荷され，土壌管理と病害虫管理の総合的成果を実証したものと見える。

5. 総括

4農場の土壌管理と病害虫管理，生産出荷の実績，ならびに土壌窒素収支と硝酸態窒素溶脱量の分析・評価に基づいて，環境にも配慮した葉菜類の集約的作付体系における持続的高品質安定生産を支援する総合的な技術をチェックリストにとりまとめた。これは，①土壌管理（圃場衛生，耕起法，対抗作物，排水法，土壌pH制御，有機物施用，緑肥作物，施肥），②病害虫管理（慣行技術体系，主要な病害虫，化学的・生物的・機械的な慣行防除技術，除草剤を含めた農薬の使用量），③生産者の姿勢，④収量と品質，⑤防除コスト，生産コストと収益等で構成される。このチェックリストの利用により，環境負荷の少ない持続的な生産が期待できると考える。