

茶の生産から消費に至る窒素フローの変遷と持続可能な窒素管理に向けた取り組み
Changes in nitrogen flow from tea production to consumption
and towards sustainable nitrogen management

廣野祐平*,**

Yuhei Hirono

1. はじめに

チャの栽培において、窒素は収量だけでなく品質にも関わる重要な元素であり、他作物と比較して多量の窒素肥料が施用されてきた。一方で、過剰な窒素施肥に伴って、周辺水系の硝酸態窒素汚染や一酸化二窒素発生量の増加、土壌の強酸性化などの環境負荷が顕在化したことを受けて、生産現場では窒素施肥量の削減が進められてきた。本発表では、まず、茶の生産から消費に至る窒素フローの変遷を概観する。次に、この窒素フローの変化に伴って茶栽培地域周辺の水系に見られた硝酸態窒素濃度の推移について紹介する。最後に、生産性の向上と環境負荷の低減を両立させる持続可能な窒素管理に向けた現在の研究の取り組みを紹介する。

2. 茶の生産から消費に至る窒素フローの変遷^[1]

日本における茶生産においては、近年、担い手不足や国内需要の低迷により栽培面積は減少傾向にあり、環境への配慮や生産コスト削減により単位面積あたりの窒素施肥量も削減傾向にある。一方、茶の消費に目を向けると、ドリンク茶生産量の増加、抹茶や粉末茶の消費量および輸出量の増加などにより、各茶期・茶種ごとの生産量が変化してきた。ここでは、これらの活動量の変化に伴って窒素フローがどのように変化してきたのかを明らかにすることをねらいとする。窒素フローの評価指標として、窒素利用効率 (NUE) とバーチャル窒素ファクター (VNF) を用いた。NUE は、茶園への窒素施肥量に対する、収穫物として茶園から持ち出される窒素量の比である。また、VNF は、消費者が摂取する緑茶に含まれる窒素量に対する、緑茶の生産・消費活動に伴い環境中へ排出される窒素量の比である。NUE および VNF の計算に必要な茶栽培面積、荒茶生産量、単位面積当たりの施肥窒素量等の各種活動量には、1965～2016年の統計データを用いた。荒茶中の窒素含量、茶からの窒素抽出割合等については文献値を集計し、正規分布あるいは一様分布の確率変数として与え、モンテカルロ法により NUE および VNF を計算した。その結果、NUE は、1965 年から 1991 年までは、主に茶園における窒素施肥量の増加により減少した。その後、1991 年から 2004 年までは、茶園における施肥窒素量の削減と収穫物として持ち出される窒素量の増加によって増加した。2004 年以降は収穫物として持ち出される窒素量の減少ともなって徐々に減少する傾向が見られた。日本で消費される緑茶の VNF は、1965 年から 1991 年まで増加し、1991 年に 54.5 を示した。これは、主に茶園における NUE が減少したことによる。その後、減少に転じ、2004 年に 30.8 になった。これは、茶園における NUE が増加したことと、茶に含まれる窒素を効率的に抽出・摂取できるドリンク茶および抹茶・粉末茶の消費量が増加したことによる。

*農研機構 果樹茶業研究部門 Institute of Fruit Tree and Tea Science, NARO

**静岡大学 ティーサイエンス研究所 Institute for Tea Science, Shizuoka University

キーワード：物質循環，茶，土壌，窒素

3. 茶産地周辺の水系に見られる長期的な水質変化^[2]

静岡県にある茶産地の一つである牧之原台地周辺の水質モニタリング調査の 1995 年～2018 年の結果から、茶園における NUE の変化が周辺水系の水質に及ぼした影響を評価した。採水地点は茶園周辺の排水路、湧水、地下水、小河川を含む 16 地点で、1995 年～2011 年 6 月までは 1 ヶ月に 1 度の頻度で採水調査を行い、それ以降は 2 ヶ月に 1 度の頻度で調査を実施し、硝酸態窒素濃度、pH を分析した。水質データのトレンド解析には、Seasonal Mann-Kendall 法を用いた。その結果、茶園周辺の排水路のいずれの地点においても有意な硝酸態窒素濃度の減少傾向が認められ、調査の前半（1995 年～2005 年）のトレンドの大きさの方が後半のトレンドの大きさよりも絶対値が大きかった。このことから、排水路中においては施肥削減が進められてから速やかに濃度が減少したことが明らかとなった。湧水や地下水、小河川中の硝酸態窒素濃度についてもすべての地点で有意な減少傾向が見られたが、濃度が減少し始めるタイミングは排水路よりも遅かった。なお、これらの硝酸態窒素濃度の減少傾向に対しては、周辺の茶園への窒素施肥量の削減に加えて流域の茶栽培面積の減少も寄与したものと考えられた。

4. 持続可能な窒素管理に向けた茶園の窒素栄養状態のセンシング

茶生産における品質向上と環境負荷低減を両立させるためには、茶園土壌および茶樹の窒素栄養状態を把握し、茶樹の要求量に合った窒素肥料を施用して NUE を向上させることが不可欠である。現在、発表者らは、ハイパースペクトルセンサを用いた分光反射特性計測により、茶樹の窒素栄養状態を非破壊で診断する技術の開発を進めている。また、土壌中の窒素栄養状態を把握するために、土壌水分センサ、電気伝導度センサ、イオン感応性電界効果トランジスタ（ion sensitive field effect transistor, ISFET）型 pH センサを含むマルチ土壌センサにより、土壌中の無機態窒素濃度を高精度で推定する技術の開発を進めている。以上の結果を組み合わせることで、茶樹および土壌の窒素栄養状態をリアルタイムに把握することが可能となり、その結果と収穫物の収量・品質との関係に関するデータを蓄積して解析することで、生産現場において適期に適量の窒素施肥を行うことを可能にし、茶園における NUE の向上を目指す。

5. おわりに

茶の生産から消費までの窒素フローにおいて、茶園への窒素施肥量や収穫物として持ち出される窒素量だけでなく、消費スタイルの変化も環境への窒素負荷に大きな影響を及ぼすことが明らかになった。一方で、最も大きな窒素負荷は茶園で生じており、そこでの NUE を改善することにより周辺の水質が改善されることも明らかになった。今後さらに持続可能な生産を進めるためには、茶園の土壌および茶樹のセンシングに基づいた、より適正な窒素管理が求められる。近年の分光化学、データサイエンス、半導体分野等の進歩により、土壌や植物の高度なセンシング技術の開発が期待される。

謝辞：本発表の一部は、JSPS 科研費 JP20K06308, JP25K02121 および総合地球環境学研究所「人・社会・自然をつないでめぐる窒素の持続可能な利用に向けて」プロジェクト（Sustainable プロジェクト, No. 14210156）の支援を受けた。

引用文献：[1] Hirono et al. (2021) Environ. Sci. Pollut. Res. 28:44936-44948. [2] 廣野 (2021) 地下水学会誌 63(4):213-225.