

令和 6 年 6 月 21 日現在

機関番号：82111

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2020～2023

課題番号：20K06308

研究課題名（和文）茶園におけるプロトン収支の解明と有機資源の活用による塩基バランスの適正化

研究課題名（英文）Soil management practices to prevent soil acidification and base cation loss in tea plantation

研究代表者

廣野 祐平（Hirono, Yuhei）

国立研究開発法人農業・食品産業技術総合研究機構・果樹茶業研究部門・グループ長補佐

研究者番号：10391418

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 2,300,000円

研究成果の概要（和文）：本研究では、茶園土壌における施肥成分の蓄積と収支および周辺水系の水質を評価した。ライシメータ試験および茶園調査から、CaやMgは収支がマイナスになっている可能性があることが明らかになった。実際の生産現場では、窒素施肥量が施肥基準より多く、化学肥料の割合が高く、苦土石灰を施用しないケースも見られることから、施肥成分の収支の不均衡が拡大し、急速に酸性化が進行していると考えられる。実際に、2県の茶栽培地域における調査から、定植年数が増すとともに土壌pHが低下していることを確認した。このような施肥成分の不均衡は土壌の急速な酸性化を引き起こし、さらには周辺水系の酸性化を引き起こしていることが示された。

研究成果の学術的意義や社会的意義

茶園への窒素施肥が引き起こす土壌酸性化について基礎的な知見を得た。現在の世界の窒素利用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、水質汚染、温室効果ガス発生量の増大、土壌の酸性化等の問題が顕在化している。特に農業の生産性を考える場合、農地土壌の酸性化による生産性の低下は世界的に重要な問題であり、本研究成果を、適切な施肥管理に活用することで、茶園土壌の化学性を適正に保ち、茶の生産性の向上および持続的な茶生産へとつながることが期待される。

研究成果の概要（英文）：The objective of this study was to clarify the balance of proton and base cations in tea gardens to develop appropriate soil management and to utilize organic materials in tea cultivation. We evaluated the accumulation and balance of fertilizer components in tea garden soil and the water quality in the surrounding water systems. From lysimeter experiments and investigations in tea gardens, it was revealed that the balance of Ca and Mg might be negative in general tea garden. Based on our surveys conducted in tea growing areas in two prefectures, it was confirmed that soil pH decreases with the planting years. This imbalance in fertilizer components also caused the acidification of surrounding water systems.

研究分野：土壌肥料

キーワード：茶 酸性化 硝化 有機質肥料 窒素肥料

様式 C-19、F-19-1 (共通)

1. 研究開始当初の背景

地球レベルでの窒素施肥量の増加に伴い、水質汚染、温室効果ガス発生量の増加、土壌酸性化などの問題が顕在化している。特に、農地土壌の酸性化による生産性の低下は、世界の農業生産において重要な問題となっている。これらの問題の解決のためには、窒素施肥量を適正にするとともに、新たに合成される窒素の使用量を削減すること、すなわち有機資源を有効活用することが、最も実効性がある対策である。茶はその健康機能性への関心の高まりから、世界規模で需要が高まっている。しかし、茶の栽培においては、他の作物栽培と比べて窒素施肥量が多く、環境負荷が問題とされてきた。茶園への窒素施肥の特徴として、菜種かすや魚かすといった有機質肥料が多く使用されることが挙げられる。これは茶樹が好アンモニア植物であるため、有機質肥料から緩効的に供給されるアンモニア態窒素が茶の品質向上に有効であるためである。しかし、近年の茶の価格の低迷や、有機質肥料の家畜飼料としての用途との競合による価格の高騰のため、有機質肥料の使用割合を削減し、化成肥料の使用割合を増加させる茶生産者が増え、施肥効率の低下や土壌の酸性化の加速が懸念されている。さらに、窒素の施用量や施用形態だけでなく、茶園の栽培管理の変化も、茶園における物質動態に大きな影響を及ぼしていることが明らかになってきた。近年、せん枝（せん定）を毎年行う一方で、土壌耕うんが省略される茶園の面積が増加している。これにより、土壌表面に刈り落とされた枝葉が、未分解のまま堆積した茶園が増加している。このことは、従来茶園で再利用されていた茶樹由来の有機物中の養分が、利用されることなく土壌表面に留まる、すなわち茶園から収奪されたのと同じことが起きていることを意味する。森林や他の農地では、窒素の微生物反応や塩基類の収奪等に由来するプロトンの生成/消費と土壌の酸性化を関連付ける研究が行われ（図1）、長期的な土壌化学性の変化を予測する試みもなされている。茶園では、これまでに窒素施肥量の適正化を目的として窒素の動態については多くの研究蓄積があり、例えば、窒素溶脱量や N_2O 発生量（Hirono and Nonaka, 2012;2014）など、収支が正確に捕捉されている。しかし、土壌の酸性化については、各地の茶園で発生している現状は認識されているものの、これまでに茶園への施肥や栽培管理と酸性化速度の関係について定量的に評価された事例はなく、その基礎となる過去の研究知見の総括も行われていない。

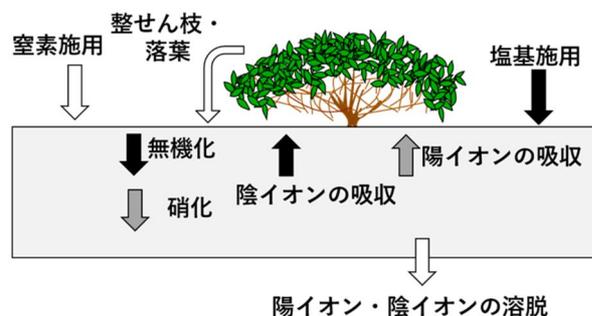


図1 茶園における物質循環とプロトンの生成/消費。
黒矢印：プロトンの消費、灰色矢印：プロトンの生成

2. 研究の目的

本研究では、これまで研究の蓄積が豊富な窒素だけでなく、塩基等も含めた施肥成分の有効利用の観点から、茶栽培における適正な土壌管理や有機資源利用技術の開発につなげるために、茶園におけるプロトンおよび塩基類等の施肥成分の収支を明らかにすることを目的とした。

3. 研究の方法

3.1 茶園における各種施肥成分の蓄積量

複数の茶園土壌の各種施肥成分の濃度および蓄積量の変化を評価した。赤黄色土および黒ボク土の2箇所の茶栽培地域の定植後年数の異なる茶園の深さ0~10cm、10~20cm、20~30cmから採取された土壌について、乾燥密度、土壌pH、交換性塩基類濃度、全窒素含量等を分析した。

3.2 各種施肥成分の収支の評価

静岡県茶業研究センター内の、茶樹が5株ずつ定植されたライシメータ（黄色土）3基を試験に用いた。施肥処理は窒素無施用、400 kgN/ha/y、540 kgN/ha/yとした。溶脱水量および溶脱水中の各種成分含量、pHを測定した。各種イオンの分析にはイオンクロマトグラフィーを、その他の元素（Al、Fe、Si）の分析にはマイクロプラズマ発光分光分析計（MP-AES）を用いた。また、栽培管理に伴う植物体を介した施肥成分の動態を評価するために、農研機構金谷茶業研究拠点内の慣行施肥管理の茶園（品種：「やぶきた」）で、一番茶、二番茶収量、落葉枝量（リタートラップ法）、すそ刈りおよび秋整枝によって刈り落とされる量を調査した。それらに含ま

れる各種成分含量を分析した。

3.3 茶栽培地域周辺の水系の水質調査

茶園への窒素施肥量が茶園からの溶脱水の酸性化に及ぼす影響を評価するために、茶園周辺の排水路、湧水、地下水等の水質調査結果に、季節変動を考慮した Mann-Kendall 検定法を適用して解析した。1996 年から 2005 年の期間については、過去に硝酸態窒素 (NO_3^- -N) 濃度および pH の長期変動について報告している (Hirono et al., 2009)。本研究では、その後、さらに 10 年以上にわたって継続してきたモニタリング調査の結果を解析することで、より長期的な水質変化を解析した。

4. 研究成果

4.1 茶園における各種施肥成分の蓄積量

赤黄色土の茶園では、定植後 1 年目のうね間の土壌 pH (深さ 10~20cm) は 4.3 であったが、定植後年数の増加に伴って減少し、定植後 5~34 年経過した茶園では pH3.5 を下回った。黒ボク土の茶園では、定植後 5~30 年経過した茶園でも pH3.9~5.0 を示した。これらの土壌 pH に対応して土壌中の交換性塩基類の濃度も変化した。黒ボク土茶園で土壌 pH および交換性塩基類濃度が高く推移したのは、本研究に用いた黒ボク土茶園地域では、堆肥等の施用により定期的に塩基類が供給されたことによると考えられた。また、これまで定量的に評価されてこなかった土壌への窒素蓄積量について、深さ 0~30cm の茶園土壌 (黄色土) における年間窒素蓄積量は約 90 kg-N/ha/y と見積もられた。これは収穫物として持ち出される窒素量と同程度の量であった。

4.2 各種施肥成分の収支の評価

ライシメータ試験における 2019-2020 年度の溶脱量は、Ca、Mg、K の塩基類は 540kg-N/ha/y 区で多く、窒素無施用区で少なかった。一方、Al、Fe の溶脱量は窒素無施用区で最も多く、540kg 区で最も少なかった。各種成分の施用量に対する、収穫あるいは溶脱により茶園外へ出る量の割合は、窒素で 32 - 46%、リンで 11 - 19%、カリウムで 44 - 54%であった。カルシウムやマグネシウムは一般的な施用目標量 (炭酸苦土石灰 1000 kg/ha) でも収支がマイナスになる可能性がある。一般的な生産現場では、窒素施用量が施肥基準より多く、化学肥料の割合が高く、苦土石灰を施用しないケースも見られることから、施肥成分の収支の不均衡が拡大し、急速に酸性化が進行していることが明らかになった。

表 1 慣行栽培条件下の茶園における主要な施肥成分の収支

	分類	成分量 (kg/ha/yr)				
		N	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO	MgO
施用量	施用	503	142	208	340	150
一番茶、二番茶	収奪	72	15	43	7	5
秋整枝	再利用/収奪	69	12	21	11	5
すそ刈り	再利用	32	5	10	62	2
落葉	再利用	187	29	49	58	17
溶脱 [※]	収奪	93	0	48	355	176

※ 窒素施肥量400~600kgN/ha/yrのライシメータ試験の結果の平均値

4.3 茶栽培地域周辺の水系の水質調査 (廣野, 2021)

全期間にわたる茶栽培地域周辺の環境水中の pH のトレンド解析の結果、排水路や湧水、地下水で酸性化傾向が認められ、小河川では、上昇傾向が認められた (表 2)。しかし、1995 年 6 月~2005 年 4 月と 2005 年 6 月~2018 年 4 月の 2 つの期間に分けてトレンド解析を実施したところ、前の期間では多くの地点で酸性化傾向が、後の期間では多くの地点で上昇傾向が認められた (表 3)。これは、茶園への窒素環境負荷低減を目指した施肥窒素量の削減によるものと考えられる。一方で、一部の排水路において酸性化の傾向が認められた要因としては、長年の茶園土壌管理による土壌の酸性化が考えられる。窒素肥料が硝化されることによって生成するプロトン、過去から継続して施用されることで土壌中の塩基類を溶脱させてきた。一方で、適正な茶園土壌環境の維持のためには苦土石灰の施用が必要であるが、施肥コストや労力の負担から、施用されない茶園が増えてきた。これらの要因により、供給される塩基の量に対して溶脱や収穫により茶園外に出ていく塩基の量が多くなり、長期的に土壌の pH 緩衝能が失われてきた可能性がある。また、施用される窒素肥料の形態が、価格の高い有機肥料から安い硫酸アンモニウム等の化学肥料へと転換されるケースが増えてきたことにより、単位窒素施用量あたりに生成する水素イオン量が増加していること (van Breemen et al., 1983) が推察される。以

上の要因が、茶園からの排水中の pH の低下を招いている可能性がある。その他のイオン種については、陰イオンでは硫酸イオン濃度、陽イオンではカルシウムイオン、マグネシウムイオン濃度の減少が大きかった(データ省略)。茶園においては硫酸アンモニウムや硫酸カリウムが肥料として施用されており、窒素成分の施用量と硫酸イオンの施用量は密接に関連している。また、前述のとおり、施用された窒素が硝化されることにより生成するプロトンが塩基類の溶脱を促す一方で、供給される塩基類が不足していることから、土壌中の塩基類が減少し、排水中の塩基類の濃度も減少したものと考えられた。

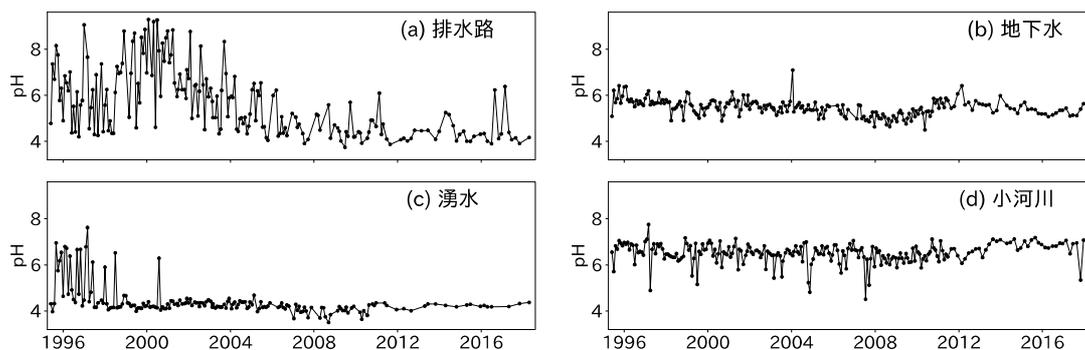


図2 主な調査地点における pH の長期的な変化

表2 茶栽培地域周辺の環境水の pH のトレンド解析結果 (1995年6月～2018年4月)

採水地点	全期間			
	平均pH	トレンド	p値	トレンドの大きさ (yr^{-1})
排水路1	6.8	no trend	0.508	0.01
排水路2	5.8	decreasing	<0.001	-0.08
排水路3	5.4	decreasing	<0.001	-0.11
地下水	5.5	decreasing	<0.001	-0.01
湧水1	6.5	increasing	<0.001	0.02
湧水2	6.4	increasing	<0.001	0.01
湧水3	4.4	decreasing	0.004	-0.01
湧水4	6.6	no trend	0.687	0.00
小河川1	6.9	increasing	<0.001	0.02
小河川2	7.0	increasing	0.008	0.01
小河川3	6.6	increasing	0.022	0.01
小河川4	7.0	no trend	0.552	0.00
小河川5	6.7	increasing	<0.001	0.02
小河川6	6.9	increasing	<0.001	0.02
小河川7	6.9	increasing	0.011	0.01
小河川8	7.6	increasing	0.011	0.02

表3 茶栽培地域周辺の環境水の pH のトレンド解析結果 (1995年6月～2005年4月と2005年6月～2018年4月)

採水地点	1995年6月～2005年4月				2005年6月～2018年4月			
	平均pH	トレンド	p値	トレンドの大きさ (yr^{-1})	平均pH	トレンド	p値	トレンドの大きさ (yr^{-1})
排水路1	6.8	no trend	0.178	0.04	6.9	no trend	0.797	0.00
排水路2	6.4	decreasing	0.001	-0.16	5.3	no trend	0.470	0.01
排水路3	6.3	no trend	0.310	-0.06	4.5	decreasing	0.032	-0.03
地下水	5.6	decreasing	0.007	-0.04	5.4	no trend	0.200	0.01
湧水1	6.4	no trend	1.000	0.00	6.5	increasing	<0.001	0.03
湧水2	6.3	no trend	0.936	0.00	6.4	increasing	<0.001	0.03
湧水3	4.5	no trend	0.067	-0.02	4.2	no trend	0.148	0.01
湧水4	6.7	no trend	0.092	-0.02	6.6	increasing	<0.001	0.02
小河川1	6.8	no trend	0.464	-0.01	7.0	increasing	<0.001	0.05
小河川2	7.0	no trend	0.084	-0.01	7.0	increasing	<0.001	0.04
小河川3	6.5	no trend	0.134	-0.03	6.6	increasing	<0.001	0.05
小河川4	7.0	decreasing	0.031	-0.03	7.0	increasing	0.003	0.02
小河川5	6.6	decreasing	0.015	-0.03	6.7	increasing	<0.001	0.06
小河川6	6.9	no trend	0.134	-0.02	7.0	increasing	<0.001	0.06
小河川7	6.8	decreasing	0.005	-0.03	6.9	increasing	<0.001	0.04
小河川8	7.5	no trend	0.217	-0.03	7.6	increasing	<0.001	0.06

<引用文献>

Hirono, Y. et al. (2009) Trends in water quality around an intensive tea-growing area in Shizuoka, Japan, *Soil Science and Plant Nutrition*, 55(6) 783-792.

Hirono, Y. and K. Nonaka (2012) Nitrous oxide emissions from green tea fields in Japan: contribution of emissions from soil between rows and soil under the canopy of tea plants, *Soil Science and Plant Nutrition*, 58(3) 384-392.

Hirono, Y. and K. Nonaka (2014) Effects of application of lime nitrogen and dicyandiamide on nitrous oxide emissions from green tea fields, *Soil Science and Plant Nutrition*, 60(2), 276-285.

廣野祐平 (2021) 茶園への窒素施肥量の削減が周辺水系の水質に及ぼす長期的な影響の評価 : 静岡県牧之原台地周辺地域における 1995 年～2018 年の水質調査を事例として, *地下水学会誌* 63(4), 213-225.

van Breemen et al. (1983) Acidification and alkalinization of soils, *Plant and Soil*, 75(3), 283-308.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計2件（うち査読付論文 2件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 1件）

1. 著者名 廣野祐平	4. 巻 63
2. 論文標題 茶園への窒素施肥量の削減が周辺水系の水質に及ぼす長期的な影響の評価：静岡県牧之原台地周辺地域における1995年-2018年の水質調査を事例として	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 地下水学会誌	6. 最初と最後の頁 213-225
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.5917/jagh.63.213	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

1. 著者名 山崎 惟吹、山下 寛人、廣野 祐平、森田 明雄、一家 崇志	4. 巻 94
2. 論文標題 スラグによる茶園土壌の中和が幼チャ樹の生育および品質に及ぼす影響	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 日本土壌肥科学雑誌	6. 最初と最後の頁 385 ~ 398
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.20710/dojo.94.5_385	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計2件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件）

1. 発表者名 廣野祐平， 山下寛人， 一家崇志
2. 発表標題 施肥管理がチャのアルミニウム含量におよぼす影響
3. 学会等名 日本土壌肥科学会2021年度北海道大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 廣野祐平
2. 発表標題 四要素施肥量が異なる茶園における各種肥料成分の動態の比較
3. 学会等名 日本土壌肥科学会2020岡山大会
4. 発表年 2020年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究 分 担 者	中村 公人 (Nakamura Kimihito) (30293921)	京都大学・農学研究科・教授 (14301)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------