

氏 名	NGUYEN, Thanh Tung
本籍（国籍）	ベトナム社会主義共和国
学 位 の 種 類	博士（農学）
学 位 記 番 号	連研第 757 号
学位授与年月日	令和 2 年 3 月 2 3 日
学位授与の要件	学位規則第 5 条第 1 項該当課程博士
研究科及び専攻	連合農学研究科 生物生産科学専攻
学位論文題目	<b>Comparison of soil fertility and the N, P and K balance in the paddy fields under conventional rice straw application versus cow dung compost application in mixed crop-livestock systems（慣行の稲わら施用水田と耕畜連携の牛ふん堆肥施用水田における土壌肥沃度と窒素・リン・カリウム収支）</b>
学位審査委員	主査 山形大学教授 藤井 弘志 副査 佐々木 由佳(山形 准教授), 松山 信彦(弘前 准教授), 鈴木 雄二(岩手 准教授)

## 論 文 の 内 容 の 要 旨

Title: Comparison of soil fertility and the N, P and K balance in the paddy fields under conventional rice straw application versus cow dung compost application in mixed crop-livestock systems

（慣行の稲わら施用水田と耕畜連携の牛ふん堆肥施用水田における土壌肥沃度  
と窒素・リン・カリウム収支）

### 【Summary】

After the rice harvest in Japan, rice straw (RS) is usually cut by combine harvester and incorporated into the soil to improve its fertility. In mixed crop-livestock systems, however, RS is collected and used as livestock feed, and cow dung compost (CDC) is then applied to the soil. This system utilizes the residual organic matter from both rice production and livestock husbandry to make each product. CDC application is also considered to improve the fertility of paddy soil. But, the nutrient input from CDC and the effect of CDC application on soil fertility vary among regions and/or soil types. We compared soil fertility between RS application (RS treatment, avg. 32 years) and RS removal plus CDC application (CDC treatment, avg. 21 years) in 79 paddy fields in Mamurogawa town, Yamagata Prefecture, a cold temperate region of Japan, and measured the nutrient contents in the applied RS and CDC. The total C content of RS was significantly higher than that of CDC, whereas the N, P, K, and Si contents of CDC were significantly higher than those of RS. However, there was no significant difference in paddy soil fertility—as measured by

soil organic C, total N, CEC, available N, P, and Si, exchangeable K, Ca, and Mg, base saturation percentage, pH, and bulk density—between the treatments. The soil fertility of most fields was adequate by RS or CDC treatment. Thus, leaving RS in paddy fields or removing it and then adding CDC to the paddy fields has a similar effect in maintaining adequate soil fertility for single rice production or rice–livestock production systems

To clarify the result of higher nutrient input from CDC but non-significant difference in soil fertility between treatments, we investigated on the nutrients (N, P, and K) balance in the RS and CDC treatment. From 79 selected fields, we chose 10 pairs fields (RS treatment and CDC treatment are nearby) to conduct this research. We measured the nutrient inputs (organic matter, fertilizer, and N fixation in case of N) and the nutrient outputs (plant uptake and leaching) and calculated the nutrient balance of the pair fields. The result showed that: **(1) N balance:** The N fertilizer contributed the highest percentage to the total N input followed by organic matter and the lowest one was N fixation. The N fertilizer and N fixation in the RS treatment were non-significant difference with those in the CDC treatment. CDC contribute significantly higher N to the fields than RS, but the total N input was non-significant difference between treatments. The plant N uptake was higher in the CDC treatment, but the difference was not significant. Plant N uptake was the main output, accounting for 98% of total N output. The N leaching loss did not contribute significantly to the total output. The N balance was positive and non-significant difference between treatments. Therefore, non-significant differences in total N input, total N output, and N balance between treatments were the reason for non-significant difference in soil total N and available N of paddy field. **(2) P balance:** P input from CDC to the field was higher than that from RS, while fertilizer P in the CDC treatment was lower than that in the RS treatment. The higher amount of P input from CDC was depleted by the higher amount of fertilizer P applied in the RS treatment, which lead to the same level of total P input between treatments. The plant P uptake was the main output, accounting for 99 % to the total P output. The P leaching loss was small and negligible. The difference in plant P uptake and P leaching between treatment was not significant, which lead to non-significant difference in total P output. Overall, the non-significant difference in soil available P between treatments come from non-significant difference in total P input, total P output, and P balance between treatments. **(3) K balance:** The contribution of organic matter in total K input was higher than that of fertilizer. The difference in K input from organic matter and chemical fertilizer between treatments was not significant, which resulted in non-significant difference in total K input to the paddy field. The plant K uptake was the main output, accounting for 90% of total K output. It was non-significant difference between treatments. The leaching loss was a significant amount and should be considered as a main output of K from the paddy field. The RS and CDC treatments resulted in the same level of K leaching loss. The total K output, therefore, was non-significant difference between treatments. Overall, the non-significant differences in total K input, total K output, and K balance were the reason for the non-significant difference in soil exchangeable K.

Aside from the main research on the nutrients balance, we also measured the nutrients

(N, P, K, Si, Ca, and Mg) and total C concentration in the plow layer water and leaching water to understand the changing of nutrients and soluble C during cropping season and how they move through from paddy field in the RS and CDC treatments. We found that in plow layer water, the concentration of all of nutrients and C excepted for P increased after transplanting, reached to the peak, and then decreased after that. The plenty of input before and/or at transplanting by organic matter and fertilizer and poor rice plant uptake resulted in the higher concentration in the plow layer water at early growth stage. Plant nutrients uptake, emission, and soil adsorption can explain to the decrease in the nutrient concentration in plow layer water. The increasing in the concentration of K, Si, Ca, and Mg in leaching water may result in the sharply decreased in their concentration in the plow layer water. In case of N and C, the concentration in the plow layer water did not have relationship with the concentration in leaching water. P is a special nutrient, absorbed firmly in soil, so that there was few P existing in plow layer and leaching water. The concentration of N, P, K, and C in plow layer water and leaching water were similar in the RS and CDC treatments, and the concentration of Si, Ca, and Mg in plow layer water and leaching water were higher in the RS treatment than the CDC treatment.

Overall, the RS and CDC treatments resulted in the same level and at fertile level of soil fertility. The input of nutrients from CDC was higher than that from RS but the total input, total output of the CDC treatment was non-significant difference with that of the RS treatment. This led to non-significant difference in nutrients balance between treatments. Therefore, the non-significant difference in total nutrients input and output, and the nutrients balance were the reason for non-significant difference in soil fertility between treatments. The amount of fertilizer P in this area can be reduced especially in the CDC treatment. And, the removal of RS resulted in negative K balance if there is no CDC application. Although the N, P, and K balance were positive, total N and P, available N and P, and exchangeable K in soil did not increase for three years of the study duration in both the RS and CDC treatments.

【和訳】日本では一般に水稻収穫後の稲わらは細断・散布され、土壤にすき込まれることで水田土壤の肥沃度維持に貢献している。一方、耕畜連携では稲わらを圃場から持ち出して飼料とし、牛ふん堆肥を水田に施用する。耕畜連携では稲作と畜産それぞれの残さ有機物を互いに有効利用できる。牛ふん堆肥も水田土壤肥沃度を高める働きがあるが、牛ふん堆肥に含まれる養分やその施用効果は地域や土壤タイプによって異なる。本研究は、日本の寒冷地に位置する山形県真室川町の 79 の水田を供試して、稲わらを施用した水田（稲わら区、平均施用年数 32 年）と稲わらを持ち出して牛ふん堆肥を施用した水田（牛ふん堆肥区、平均施用年数 21 年）の土壤肥沃度の比較と、施用稲わらと施用牛ふん堆肥の養分含有率の比較をおこなった。稲わらの全炭素含有率は牛ふん堆肥よりも有意に高く、牛ふん堆肥の窒素・リン・カリウム・ケイ素含有率は稲わらよりも有意に高かった。しかし、水田の土壤肥沃度（土壤有機態炭素、全窒素、CEC、可給態窒素・リン・ケイ素、交換性カリウム・カルシウム・マグネシウム、塩基飽和度、pH、容積重）には処理区間に有意な差が認められなかった。土壤肥沃度は両区のほとんどの圃場で適切な範囲だった。そのため、慣行の稲わら施用水田も耕畜連携において稲わ

らを持ち出して牛ふん堆肥を施用した場合も、適切な土壌肥沃度を維持する上では同様の効果があることがわかった。

牛ふん堆肥の水田への養分投入量が稲わらより多いにも関わらず、両区の土壌肥沃度に有意な差がなかった理由を明らかにするために、養分（窒素、リン、カリウム）収支を検討した。この検討では、前述の 79 圃場うち、近接する稲わら区と牛ふん堆肥区を 1 組として 10 組の圃場を供試した。供試圃場において養分投入量（有機物、肥料、窒素に関しては窒素固定）と養分持ち出し量（水稻による吸収と溶脱）を測定し、養分収支を計算した。以下に結果の概要を示す。(1)窒素収支：窒素投入量が多い順に、肥料、有機物、窒素固定であった。肥料施用量と窒素固定量は稲わら区と牛ふん堆肥区で有意な差がなかった。牛ふん堆肥の窒素投入量は稲わらより多かったが、総窒素投入量は処理区間に有意な差がなかった。吸収による窒素持ち出し量は牛ふん堆肥区で稲わら区より多い傾向だったが、有意な差はなかった。吸収量は総窒素持ち出し量の 98%を占めた。溶脱による窒素持ち出し量は少なかった。窒素収支は正の値を示し、処理区間に有意な差がなかった。以上のことから、稲わら区と牛ふん堆肥区の総窒素投入量、総窒素持ち出し量、窒素収支に差がないことが、測定された土壌肥沃度のうちの全窒素量と可給態窒素量に差がなかった理由と考えた。(2)リン収支：牛ふん堆肥のリン投入量は稲わらより多かったが、リン肥料は牛ふん堆肥区が稲わら区より少なかった。この有機物由来のリン投入量の差と肥料由来のリン投入量の差は同程度だったため、総リン投入量は両区で同程度だった。吸収によるリン持ち出し量は多く、総持ち出し量の 99%を占めた。溶脱量は少なく、無視できる量であった。吸収量と溶脱量は処理区間に有意な差がなく、そのため総リン持ち出し量も処理区間差がなかった。以上のことから、稲わら区と牛ふん堆肥区の総リン投入量、総リン持ち出し量、リン収支に差がないことが、測定された土壌肥沃度のうちの可給態リン量に差がなかった理由と考えた。(3)カリウム収支：有機物由来のカリウム投入量は肥料由来より多かった。有機物と肥料のカリウム投入量はいずれも処理区間で有意な差がなく、そのため総カリウム投入量は処理区間差がなかった。吸収によるカリウム持ち出し量は多く、総持ち出し量の 90%を占めた。カリウム吸収量は処理区間に有意な差がなかった。カリウム溶脱量も多く、水田のカリウム収支を考える際には考慮する必要があると考えられた。稲わら区と牛ふん堆肥区のカリウム溶脱量は同程度であった。そのため、総カリウム持ち出し量は処理区間に有意差がなかった。以上のことから、稲わら区と牛ふん堆肥区の総カリウム投入量、総カリウム持ち出し量、カリウム収支に差がないことが、測定された土壌肥沃度のうちの交換性カリウム量に差がなかった理由と考えた。

養分収支の研究に加えて、作土と下層土の土壌溶液中の養分（窒素、リン、カリウム、ケイ素、カルシウム、マグネシウム）濃度と全炭素濃度を測定し、水稻栽培期間中の養分と溶存態炭素の経時変化や溶脱の様子を測定した。作土の土壌溶液は、リン以外の養分濃度と炭素濃度が移植後増加し、最高点に達した後に減少した。移植までに有機物や肥料からの投入が多くある一方で、生育初期の水稻の養分吸収は少ないため、生育初期の養分・炭素濃度が高くなったと考えた。水稻による養分吸収、ガス化による損失、土壌への吸着は作土の土壌溶液中養分濃度の低下要因と考えられた。カリウム、ケイ素、カルシウム、マグネシウム濃度については、作土の土壌溶液中濃度の急激な低下が下層土の土壌溶液中濃度を増加させたと考えた。窒素と炭素の濃度は作土と下層土の土壌溶液中濃度に関係がみられなかった。リンは土壌へ強く固定されるため、作土、下層土ともに土壌溶液中濃度が低く保たれた。作土と下層土の土壌溶液中窒素、リン、カリウム、炭素濃度は稲わら区と牛ふん堆肥区で同程度であり、ケイ素、カルシ

ウム、マグネシウム濃度は稲わら区の方が牛ふん堆肥区より高かった。

以上より、稲わら区と牛ふん堆肥区の土壤肥沃度は同程度に高いことが示された。牛ふん堆肥から投入された養分量は稲わらから投入された養分量より多かったが、総投入量、総持ち出し量は稲わら区と牛ふん堆肥区で有意な差がなく、その結果として養分収支にも処理区間差がなかった。総投入量、総持ち出し量、養分収支に処理区間差がないことが、土壤肥沃度に処理区間差がなかった理由と考えた。本研究の対象地域においてリン肥料の施用量は、とくに牛ふん堆肥区で削減できることがわかった。また、稲わらを持ち出して牛ふん堆肥を施用しない場合はカリウム収支がマイナスとなることがわかった。窒素、リン、カリウム収支はいずれもプラスだったが、本研究をおこなった 3 年間で、両区の土壤の全窒素、全リン、可給態窒素、可給態リン、交換性カリウム量は増加しなかった。

## 論文審査の結果の要旨

日本では一般に水稻収穫後の稲わらは土壤にすき込まれることで水田土壤の肥沃度維持に貢献している。一方、耕畜連携では稲わらを圃場から持ち出して飼料とし、牛ふん堆肥を水田に施用する。牛ふん堆肥も水田土壤肥沃度を高める働きがあるが、牛ふん堆肥に含まれる養分やその施用効果は地域や土壤タイプによって異なり、明らかになっていない。そこで、本論文では、日本の寒冷地に位置する山形県真室川町の稲わらを施用した水田（稲わら区、平均施用年数 32 年）と稲わらを持ち出して牛ふん堆肥を施用した水田（牛ふん堆肥区、平均施用年数 21 年）の土壤肥沃度の比較と、施用稲わらと施用牛ふん堆肥の養分含有率および詳細な養分収支の比較を行い、稲わら区および牛ふん堆肥区の土壤肥沃度、養分収支に及ぼす影響を明らかにした。

稲わらの全炭素含有率は牛ふん堆肥よりも有意に高く、牛ふん堆肥の窒素・リン・カリウム・ケイ素含有率は稲わらよりも有意に高かった。しかし、水田の土壤肥沃度（土壤有機態炭素、全窒素、可給態窒素・有効態リン酸・ケイ酸など）には処理区間に有意な差が認められなく、稲わら区と牛ふん堆肥区の土壤肥沃度は同程度に高いことを明らかにした。

牛ふん堆肥から投入された養分量は稲わらから投入された養分量より多かったが、総投入量、総持ち出し量は稲わら区と牛ふん堆肥区で有意な差がなく、その結果として養分収支にも処理区間差がなかった。総投入量、総持ち出し量、養分収支に処理区間差がないことが、土壤肥沃度に処理区間差がなかった理由であることを明確にした。

さらに、対象地域においてリン肥料の施用量は、とくに牛ふん堆肥区で削減できることも明らかにした。また、稲わらを持ち出して牛ふん堆肥を施用しない場合はカリウム収支がマイナスとなることも明らかにした。

以上より、本論文では、稲わら施用水田および牛ふん施用水田における養分収支、土壤肥沃度等を詳細に検討し、各養分の量的、動的な視点から有機物施用の効果を示し、水田土壤における有機物管理の方向性の提案を行った。

本審査委員会は「岩手大学大学院連合農学研究科博士学位論文審査基準」に則り審査した結果、本論文を博士（農学）の学位論文として十分価値のあるものと認めた。

学位論文の基礎となる学術論文  
主論文

1 . Nguyen TT, Sasaki Y, Kakuda K and Fujii H (2019)

Comparison of paddy soil fertility under conventional rice straw application versus cow dung compost application in mixed crop–livestock systems in a cold temperate region of Japan

Soil Science and Plant Nutrition (Published online: 24 Oct 2019, <https://doi.org/10.1080/00380768.2019.1677445>, and will be in Vol. 66, 1<sup>st</sup> issue, 2020)

2 . Nguyen TT, Sasaki Y, Kakuda K and Fujii H (2019)

Comparison of the nitrogen balance in paddy fields under conventional rice straw application versus cow dung compost application in mixed crop–livestock systems

Soil Science and Plant Nutrition (Published online: 12 Dec 2019, <https://doi.org/10.1080/00380768.2019.1697856>, and will be in Vol. 66, 1<sup>st</sup> issue, 2020)