

# シロクローバーまたはヘアリーベッチ施用水田において 再生紙マルチ移植栽培で水稲を有機栽培した時の生育・収量及び土壌特性

山下陽一・阿立真崇・上野秀人・鈴木孝康・本荘陽一

## Growth and Yield of Paddy Rice and Soil Properties under Paper-Mulching Cultivation Applied with White Clover or Hairy Vetch

Yoichi Yamashita, Masataka Adachi, Hideto Ueno, Takayasu Suzuki and Yoichi Honjo

### Summary

Application effects of legumes, white clover (WC) and hairy vetch (HV), on the growth and yield of paddy rice and soil properties were investigated under paper-mulching cultivation, compared with chemical fertilizer (CF) and no-fertilization (NF). The legumes increased the soil EC and pH at early growth stage, but oxygen-reduction potential of the soil differed slightly among the treatments. Plant height, number of stems and chlorophyll content (SPAD value) in WC showed the highest value, and it is followed by those in CF, HV and NF in descending order. It may be caused by the water-soluble nitrogen compounds released at the early stage from the legumes incorporated. The highest yield was obtained in HV, a low percentage of ripened grains decreased yields in WC and CF due to an insect damage. The legumes used in this study would be regarded as useful materials of organic fertilization for the paper-mulched rice cultivation, but the application amount should be controlled so as not to apply nitrogen excessively. Ecological pest management is also needed in the cultivation.

### 緒 言

土壌への有機物施用効果として、一般的に物理性（透水性・通気性・保水性・易耕性・耐食性の増大等）、化学性（養分の継続的な供給、土壌pH矯正、陽イオン交換容量の増大、有害物質の除去、養分の可給態化等）、生物性（有害生物の増殖抑制、生物多様性の増進等）等が認められており、地力保全面で非常に効果が高いことから、有機物の積極的な施用が勧められている。しかしながら、農家が家畜糞堆肥や食品残渣等の有機物を水田に運搬し、散布することは、化学肥料に比べて非常に労力とコスト、エネルギーを必要とすることになる。

一方、緑肥は、水稲収穫前後に圃場に種子を播種すれば、特別な管理をすることなく生育し、春先の適当な時期にトラクターですき込んだり、カバークロープとして活用したりすることにより、土壌に有機物を供給できる最も手軽な手段である。特にマメ科緑肥は、窒素固定を行うことから窒素供給能力が期待され、適当な緑肥草種を選べば、水稲栽培に十分な窒素供給が可能である。さらにリン酸

等の土壤中で不可給態化したり、下層土壤に溶脱した養分を可給化・回収する効果も期待できる。近年の有機農産物に対する需要拡大や資源枯渇問題対策に対しても、水田における緑肥利用は、重要な技術の一つと考えられる。

我が国の水稲栽培においては、緑肥は化学肥料が導入される前から使われてきており、地力増進と収量増加に効果が高いことが知られている。特にレンゲ (*Astragalus sinicus* L.) は古くから使用されており<sup>10)</sup>、現在でも各地の水田で作付けされている。さらにレンゲ立毛中に水稲種子を直播する栽培も開発されている<sup>6)</sup>。

しかしながら、愛媛県中予地域の水田でレンゲを使用してもその効果があまり見られないケースが少なくない。それはレンゲの養分供給能力が最も高い開花期が4月中旬であり、水稲移植は2ヶ月後の6月中旬であることに起因していることが明らかになっている<sup>7)</sup>。レンゲは土壤にすき込むことにより急速に分解が生じ、土壤中に無機態窒素を放出する。しかしながら、この時には水稲はまだ移植されていないためにその多くが脱窒してしまい、レンゲによって固定された窒素が有効に活用できない問題がある。一方、シロクロバー (*Trifolium repens*) やヘアリーベッチ (*Vicia villosa* Roth.) は開花が遅く、6月中旬においても十分なバイオマスを有しており、固定された窒素を有効的に後作の水稲栽培に活用できる可能性がある<sup>2), 9)</sup>。

再生紙マルチ移植栽培は、除草剤を使用しない水稲栽培法として開発され、段ボール古紙をリサイクル利用して作られた紙を代かき済み水田に敷きながら水稲苗を機械移植するものであり、確実性が高い除草法として有機農業農家で実施されている<sup>8)</sup>。本栽培法における施肥は、全量基肥として有機質肥料が利用されることが多く、マメ科緑肥の利用は見当たらない。また研究例も報告されていない。

これらのことから、本研究では、マメ科緑肥であるシロクロバーとヘアリーベッチを冬季休閑期に栽培し、これらを土壤にすき込むことで肥料とし、再生紙マルチ水稲移植栽培を行ったときの水稲生育と収量および土壤養分等に与える影響を検討した。

## 材料及び方法

本研究は2001年に愛媛大学農学部附属農場試験水田（2号田）において行った。土壤は灰色低地土、土性は壤土（L）、花崗岩を母材とする低肥沃な土壤である。

処理区はシロクロバーをすき込んだクロバー区、ヘアリーベッチをすき込んだベッチ区の他に、冬季放任して肥料を施用しなかった無処理区と、冬季放任した後に化学肥料をN、P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>、K<sub>2</sub>Oを各8g/m<sup>2</sup>ずつ施用（Nは被覆尿素肥料LP100S）した化学肥料区の4区を設けた。各圃場の面積は1a（10m×10m）、反復数は4とし、乱塊法で配置した。シロクロバーおよびヘアリーベッチは2000年11月に耕起済み水田にそれぞれの種子を2kg/10aおよび5kg/10aずつ播種し、軽く覆土を行った。2001年6月上旬に緑肥および雑草を土壤にすき込んだ。6月18日に代かきを行った。

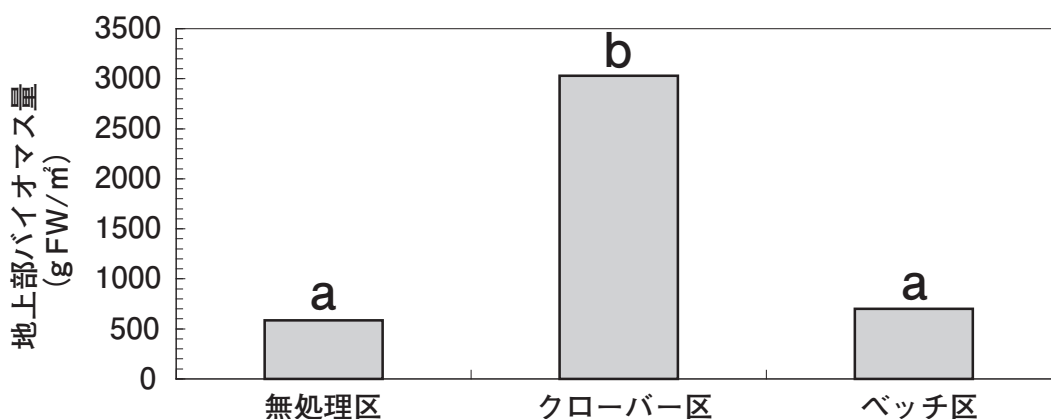
水稲品種としてヒノヒカリを供試し、再生紙マルチ田植機（三菱農機MKP505型）を用いて同年6月20日に幼苗を移植した。再生紙マルチは、無着色、1.6m×100m、120g/m<sup>2</sup>のものを使用した。栽植密度は、条間30cm、株間18cmとした。

水稲生育期間中は、水稲の草丈、莖数、葉色値を定期的に測定するとともに、収穫時に収量構成要素である穂数、一穂粒数、千粒重、登熟歩合および玄米収量を測定した。収量調査は、70株/反復を採取し、水分14.5%として算出した。

各処理区とも、代かき直前の緑肥および雑草を収穫しバイオマスを測定した。土壌については代かき直前に土壌を採取して全窒素含量を測定するとともに、生育期間中に土壌上層（深度10cm）にセンサーを挿入して土壌溶液中のpH、電気伝導度（EC）、酸化還元電位（Eh）を定期的に測定した。統計処理はTukeyの方法で多重比較を行った。

## 結果及び考察

各処理区の代かき直前における緑肥および雑草の地上部バイオマス量（新鮮重）を第1図に示した。クローバー区が最も高く、他処理区に比べて有意に高かった。クローバー区のバイオマス量は1㎡あたり3kgを超えており、窒素固定が冬～春季に行われたものと考えられた。すき込まれることにより、後作の水稲栽培において利用されたと考えられる。一方、ベッチ区と無処理区は同等の値を示した。化学肥料区は無処理区と同じであった。供試圃場においてヘアリーベッチを播種するのは初めてであり、共生する根粒菌が少なかったためか、ヘアリーベッチの生育が劣った。したがって本研究においてベッチ区の窒素固定は、シロクローバーに比べて低いレベルであり、後作への窒素供給量も低いと考えられた。無処理区においてはスズメノテッポウ (*Alopecurus aequalis*) が優先していた。

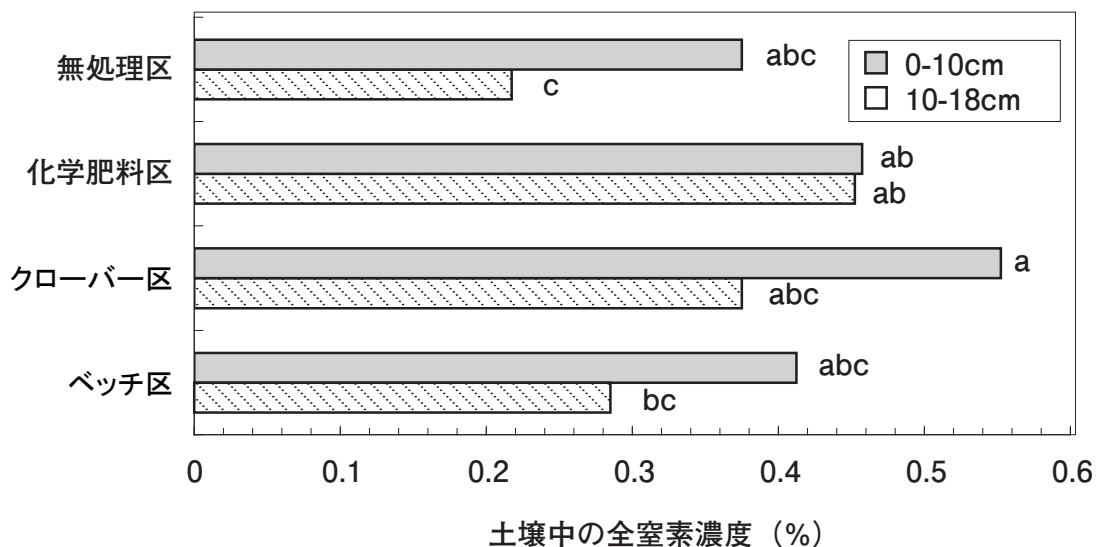


第1図 各処理区における代かき直前の地上部バイオマス量の比較  
同ジアルファベット符号は5%水準で有意差がないことを示す。

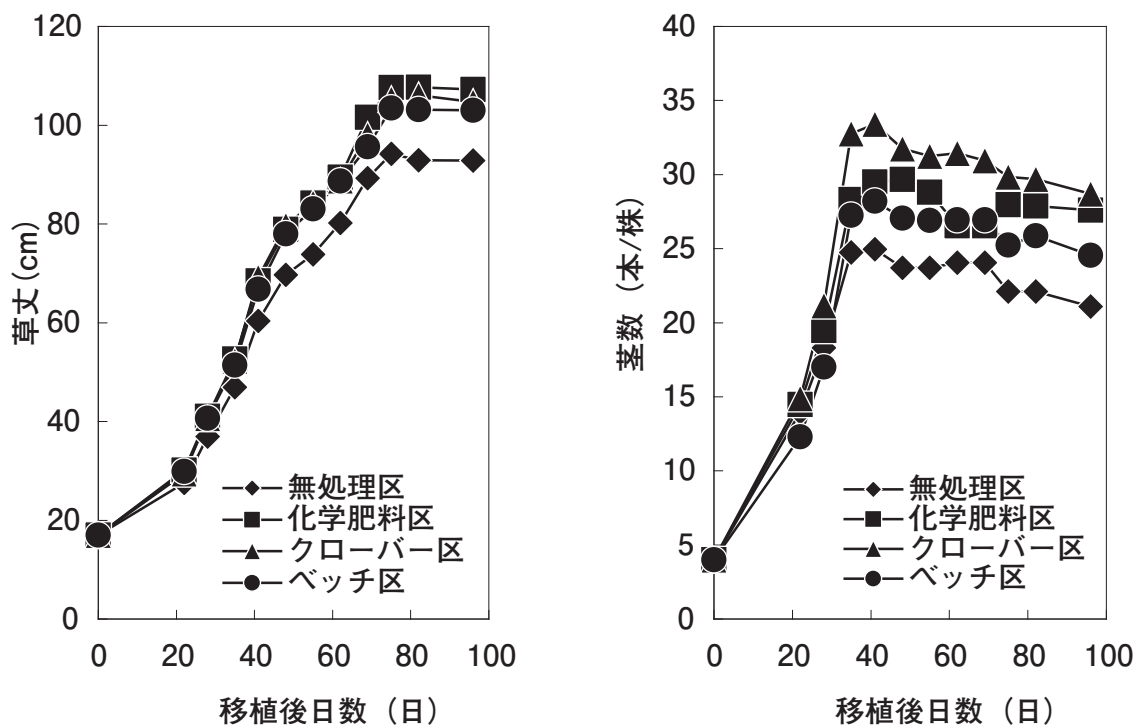
代かき直前の土壌中の全窒素濃度を地下0から10cmと10から18cmまでの2層に分けて表示した（第2図）。作土層の深さは18cmであった。全ての区において、上層の方が下層より全窒素濃度が高かった。また無処理区に比べて、緑肥を施用したクローバー区とベッチ区において、全窒素濃度が高い傾向が見られた。特にクローバー区の上層は、顕著に高い窒素量が見られ、無処理区およびベッチ区の下層に比べて有意に高かった。ベッチ区は、地上部バイオマスの生育が貧弱ではあったが、無処理区よりも全窒素濃度はやや高く、若干ではあるが、窒素供給量が高まった可能性が見られた。

各処理区における水稲の草丈は、化学肥料区が全期間を通じて最も高く推移した（第3図左）。クローバー区やベッチ区はやや低く推移した。無処理区は他の処理区に比べて低く推移する傾向が見られた。緑肥の中では、クローバー区の方がベッチ区よりやや高くなる傾向が見られたが、違いはわずかであった。

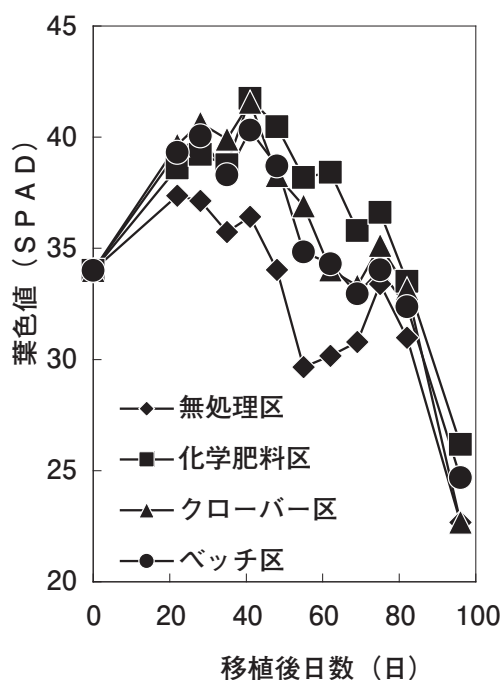
茎数はクローバー区が最も高く、化学肥料区、ベッチ区、無処理区が続いた（第3図右）。クローバー区では緑肥分解に伴う養分供給量が初期から多かったため、分けつが増加したものと考えられた。



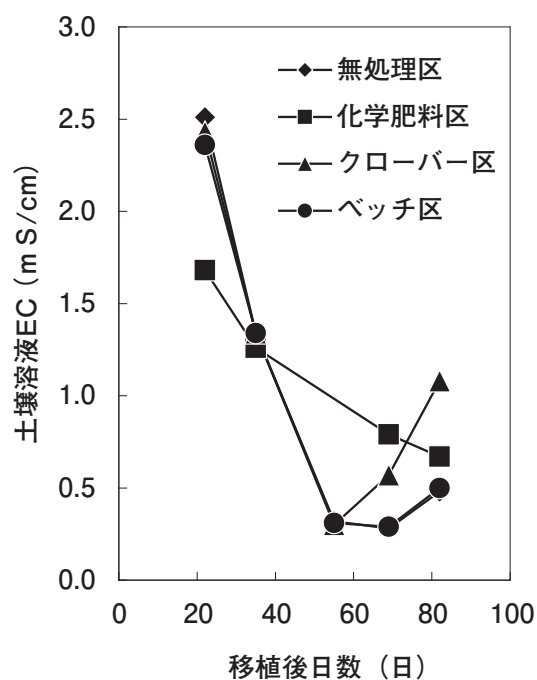
第2図 各処理区における代かき直前の深度別の土壌中の全窒素濃度の比較  
同ジアルファベット符号は5%水準で有意差がないことを示す。



第3図 各処理区の水稲草丈 (左) および茎数 (右) の推移



第4図 各処理区の水稲葉色値の推移



第5図 各処理区の土壌溶液ECの推移

第1表 玄米収量および収量構成要素

試験区	玄米収量 (g/m <sup>2</sup> )	千粒重 (g)	一穂粒数 (粒/穂)	一株穂数 (本/株)	登熟歩合 (%)
無処理区	507 ab	23.8	71.4 b	20.6 c	82.2 a
化学肥料区	468 b	21.3 b	91.0 a	26.1 ab	44.9 b
クローバー区	485 b	21.3 b	79.8 ab	29.0 a	49.3 b
ベッチ区	575 a	22.6 a		23.6 bc	60.9 b

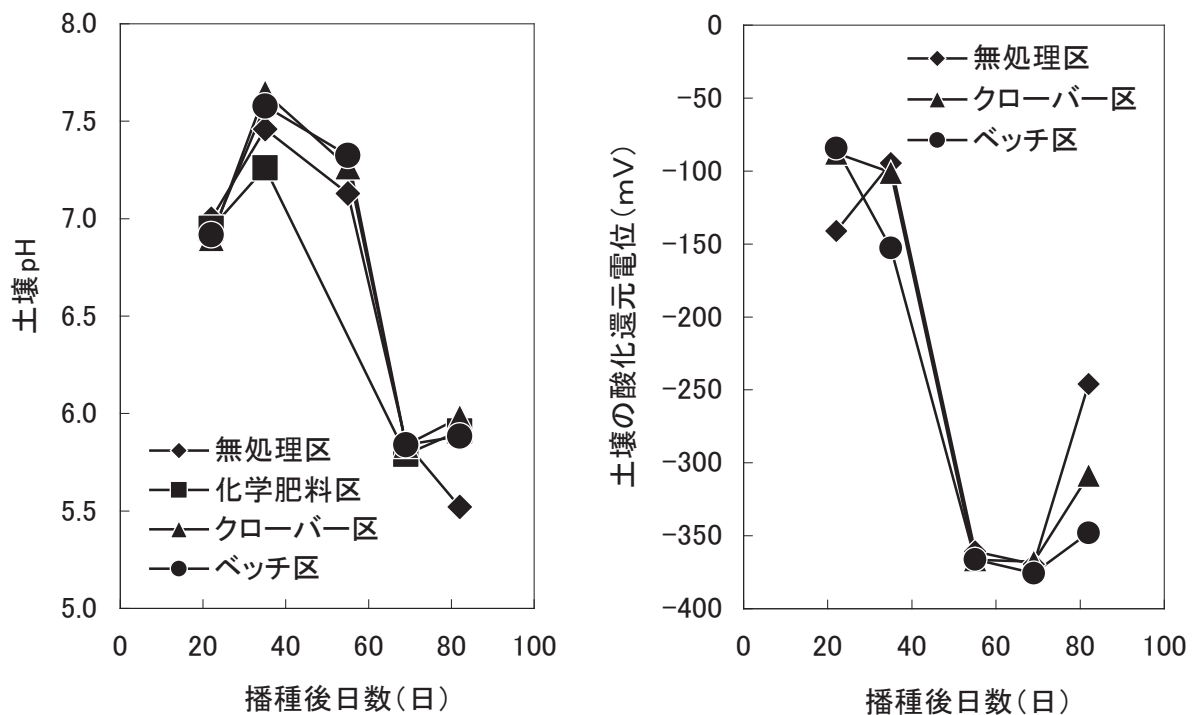
同じアルファベット符号は5%水準で有意差がないことを示す。

水稲の葉色値は、初期はクローバーとベッチ区が高く、移植後40日目以降は化学肥料区で高く推移する傾向が見られた。無処理区は生育期間全般にわたり低く推移した。シロクローバーやヘアリーベッチはC/N比が低く、分解速度が高いため、栽培初期は土壤中に多くの可給態窒素が放出されたが、中・後期は易分解性画分が分解されてしまい、窒素供給量が減少したものと考えられる。一方、化学肥料区では、窒素は緩効性被覆肥料が用いられているため、中・後期に窒素養分の溶出量が高くなり、それを吸収して葉色値が高くなったものと考えられた。Asagi&Ueno (2009) は、緑肥を土壤にすき込んだ場合の緑肥由来窒素の水稲利用効率を解析しており、土壤表面に施用した場合に比べて高いことを明らかにしている<sup>1)</sup>。本研究において緑肥は、土壤中にすき込まれており、さらに再生紙

マルチにより土壌表面が被覆されていることから、可給態化した窒素が再生紙に一時的に吸着されて窒素ロスが低減し、有効態窒素濃度が比較的高く、長期間維持されたと考えられる。これらの現象については、今後、詳細な研究を行う必要がある。

玄米収量は、ベッチ区が最も高く、続いて無処理区>クローバー区>化学肥料区の順に低くなった(第1表)。穂数はクローバー区>化学肥料区>ベッチ区>無肥料区の順であり、一穂粒数は化学肥料区>ベッチ区>クローバー区>無肥料区の順となって、草丈、茎数、葉色値の傾向とほぼ一致した。しかし、登熟歩合が無処理区>ベッチ区>クローバー区>化学肥料区の順となり、特に化学肥料区とクローバー区の登熟歩合が50%以下の低い値となったため、これらの処理区の収量が大幅に減少した。また千粒重も有意な低下が見られた。化学肥料区とクローバー区の登熟歩合と千粒重の減少は、コブノメイガ (*Cnaphalocrocis medinalis*) の発生によるものと推察される。化学肥料区とクローバー区の葉色値が高く、導管中のアマイド濃度が高いためにコブノメイガが局所的に誘引され、被害が大きくなったものと考えられた。

土壌溶液中の電気伝導度 (EC) を第5図に示した。本測定値は、土壌を採取して蒸留水を加えて攪拌したものではなく、土壌溶液中のイオン濃度を直接測定したものであるため、全般的に高い値を示した。本数値は、主にアンモニア態窒素や有機酸、無機イオン濃度を反映するものと考えられる。栽培期間中の土壌溶液ECは、全ての処理区において移植後22日目で最も高い数値が確認され、その後低下する傾向が見られた。特に無処理区、クローバー区、ベッチ区が高く、急速に減少し、69日目以降に再び増加する傾向が見られた。69日目以降の増加は、中干しにより有機物が分解して土壌溶液中のイオン量が増加したものと考えられる。一方、化学肥料区は、これらの処理区に比べて減少速度は緩やかであった。緩効性被覆肥料を施用したため、持続的に窒素成分が土壌中に供給され、ECの減少が緩慢になったと考えられた。



第6図 各処理区における土壌pH (左) および土壌酸化還元電位 (右) の推移

栽培期間中の土壌pHの推移を第6図（左）に示した。最高分げつ期の直前にピークが現れ、その後、低下する傾向が見られた。この時期の水田土壌pHの増加は、土壌中のアンモニア態窒素濃度の上昇が原因と考えられ、土壌からの地力窒素に加え、シロクローバーやヘアリーベッチからのアンモニアが放出されたことから、クローバー区やベッチ区が比較的高く推移したと考えられる。化学肥料区は、緩効性肥料を施用したため、生育初期のアンモニアの急激な放出は少なく、pHも比較的低位に推移したものと推察される。

鈴木ら（2001）は、緑肥草生マルチ水稻栽培において、入水後から急速に緑肥分解が行われ、2週間にわたって有機酸濃度が高くなり、pHの低下が見られたと報告している<sup>7)</sup>。本研究では入水後2週間目までのpH測定を行わなかったがpHは一度低下し、その後、上昇したものと考えられる。

土壌の酸化還元電位の推移（第6図（右））は、土壌溶液EC（第5図）と同様な傾向を呈した。出穂期前後に顕著な酸化還元電位の低下が見られた。特に栽培前期および後期において、クローバー区とベッチ区は、無処理区に比べて若干低くなる傾向が見られた。これは、土壌微生物による有機物分解により、溶存酸素濃度が低下したことを表していると考えられるが、有意な差は見られなかった。どの処理区も酸化還元電位の最低値は $-370\text{mV}$ 程度と非常に低く、一時的に強還元状態になったと考えられた。再生紙マルチが酸素供給を低下させたことが原因と考えられる。

以上のことから、緑肥を施用することにより、栽培初期に急速な有機物分解が生じ、窒素を中心とした養分供給が行われるため、水稻の草丈、茎数、葉色値は、生育前半において値が高くなった。特に本研究では、クローバー区が高い値を示した。しかしながらクローバー区と化学肥料区ではコブノメイガによる食害が著しく、登熟歩合が極端に減少し、低収量の原因となった。本研究は有機農業に準じた栽培管理を行ったが、これらの処理区に殺虫剤散布をしていれば、高い収量が得られたと考えられる。これに対してベッチ区は、緑肥バイオマス量が低かったために、葉色値が抑えられ、コブノメイガによる被害はわずかであり、収量が最も高くなった。レンゲにおいても窒素供給量が多い場合は、病虫害や倒伏を避けるために、鋤込み後の日数を長くして窒素発現量を抑制する必要があることが報告されている<sup>5)</sup>。

水稻生育期間中、再生紙マルチ栽培では、全く雑草は見られず、抑草効果が高いことが示された。また緑肥として供試したヘアリーベッチは、アレロパシー物質としてシアナミドを含有し、除草効果を有することが報告されており<sup>3), 4)</sup>、マルチングの他に化学的な抑草も行われた可能性がある。

シロクローバーやヘアリーベッチの施用は、害虫以外については特に生育抑制は認められず、窒素を中心とした養分供給を行うという面では、再生紙マルチ移植栽培に適した緑肥であると考えられる。しかしながら、過度な施用にならないよう注意する必要がある。また害虫防除のため、生物多様性の拡大や天敵密度を高めるなどの農業生態系の維持、管理、保全も同時に行うことにより、安定した水稻生産が可能になると考えられた。

## 摘 要

再生紙マルチ水稻移植栽培において、シロクローバーやヘアリーベッチ施用を行い、水稻生育と収量および土壌特性に与える変化について、無肥料区と化学肥料区を対照として調査した。緑肥を施用すると、栽培初期に急速な有機物分解が生じ、電気伝導度とpHが高くなる傾向が見られた。しかしながら、この時期の酸化還元電位への影響はわずかであり、遅れて酸化還元電位が低下した。

水稻生育については、草丈、茎数、葉色値とも同様な傾向が見られ、クローバー区が最も高く、つ

いで化学肥料区、ベッチ区、無処理区の順になった。これは生育初期の水溶性窒素の供給速度に大きく関与していると考えられた。水稻収量は、ベッチ区が最も高かった。クローバー区と化学肥料区では、コブノメイガの食害が顕著であり、それに伴い登熟歩合が極端に減少したため、低収量となった。シロクローバーやヘアリーベッチは養分供給面で、再生紙マルチ移植栽培に適した緑肥であると考えられるが、施用量が過度にならないように注意するとともに、害虫管理も留意する必要があると考えられる。

## 引用文献

- (1) Asagi, N. and H. Ueno (2009) Nitrogen dynamics in paddy soil applied with various <sup>15</sup>N-labelled green manures. *Plant and Soil*. 322 : 251-262.
- (2) 浅木直美・上野秀人 (2009) 西南暖地におけるシロクローバーのすき込みおよびリビングマルチ処理が水稻の生育、収量および土壌アンモニア態窒素濃度に与える影響. *農作業研究* 44 : 127-136.
- (3) 藤井義晴 (1995) ヘアリーベッチの他感作用による雑草の制御 一休耕地・耕作放棄地や果樹園への利用一. *農業技術* 50 : 199-204.
- (4) 藤原伸介・吉田正則 (2000) 被覆植物ヘアリーベッチのアレロパシーとマルチ資材としての利用に関する研究. *四国農試報* 65 : 17-32.
- (5) 川瀬 昭 (1994) レンゲ跡イネの施肥 農業技術体系. 土壌施肥編 第6-1巻 作物別施肥技術 (イネの施肥技術一肥効を左右する諸要因) 技術20-2~20-5ページ.
- (6) 中野尚夫 (1999) 緑肥作物立毛中に不耕起播種した水稻の生育と収量. *日作紀* 68 : 470-475.
- (7) 鈴木孝康・上野秀人・本荘陽一・松村奈理広・吉野久恵・嶺田拓也・日鷹一雅 (2001) マメ科草生マルチを活用したLISA型不耕起水田土壌における養分動態の解析：栽培初期における緑肥窒素の無機化と有機酸の生成. *日本土壌肥料学会講演要旨集* 47 : 147.
- (8) 津野幸人・山口武視・中野淳一・河上英俊 (1993) 水稻の再生紙マルチ栽培の理論的根拠ならびにその応用試験. *日作紀* 62 (別1) : 32-33.
- (9) 上野秀人 (2004) 水田におけるカバークロップ利用. *農作業研究* 39 : 165-170.
- (10) 安江 輔 (1993) レンゲ全書：来歴・性状・栽培・利用・文化. 農文協.