

緑肥レンゲ(*Astragalus sinicus* L.)を17年間連用した水稻収量とその変動要因

誌名	日本作物學會紀事
ISSN	00111848
著者名	浅井,辰夫 平野,清 前田,節子 飛奈,宏幸 西川,浩二
発行元	日本作物學會
巻/号	82巻4号
巻号補足	
掲載ページ	p. 353-359
発行年月	2013年10月

緑肥レンゲ (*Astragalus sinicus* L.) を 17 年間連用した水稻収量と その変動要因

浅井辰夫¹⁾・平野清²⁾・前田節子³⁾・飛奈宏幸¹⁾・西川浩二¹⁾

(¹⁾ 静岡大学農学部附属地域フィールド科学教育研究センター, ²⁾ 畜産草地研究所, ³⁾ 静岡英和学院大学短期大学部)

要旨: 静岡大学農学部附属地域フィールド科学教育研究センターの水田において、緑肥レンゲを利用した水稻の無農薬栽培試験を早生品種を用いて 17 年間継続して実施した。試験区として、基肥に緑肥レンゲをすき込み、農薬を使わないレンゲ無農薬区 (1993~2009 年)、レンゲをすき込むが農薬を使うレンゲ有農薬区 (1999~2009 年) および化学肥料と農薬を使用する化学肥料区 (1993~2009 年) を設定した。レンゲ無農薬区は、1993~2000 年までの 8 年間は気象災害とニカメイチュウの被害が頻発して、水稻部分刈り平均収量は 409 g m^{-2} であったが、同被害がない 2001~2009 年の 9 年間の平均収量は 466 g m^{-2} へと向上した。同期間のレンゲ有農薬区の平均収量が 468 g m^{-2} であり、無農薬でも有農薬と比べて遜色のない収量が得られた。化学肥料区は、1993~2000 年の平均収量が 517 g m^{-2} 、2001~2009 年が 539 g m^{-2} で、試験期間中における収量の変動はレンゲ無農薬区ほど大きくはなかった。両レンゲ区では、2006、2007 年および 2009 年に外来害虫のアルファルファタコゾウムシが多発したことによりレンゲ生産量が減少したことから、この 3 年間のレンゲ無農薬区の平均収量は 414 g m^{-2} と他の年より低かった。一方、アルファルファタコゾウムシが発生しなかった 6 年間の平均収量は 493 g m^{-2} で、化学肥料区の 93% の収量が確保された。また、レンゲ生産量と水稻収量との間には、高い正の相関関係が認められた。レンゲすき込み区の生育の特徴は、化学肥料区に比べて初期生育が緩慢であることが明らかになった。

キーワード: 減収要因、収量性、17 年間連用、初期生育、水稻、生育特性、緑肥、レンゲ。

レンゲ (*Astragalus sinicus* L.) は、水田にすき込まれたときの水稻に対する肥料効果が安江 (1991) および川瀬・北島 (1993) によって明らかにされている。また、畑地においてもソバ栽培における緑肥としての効果が認められている (杉本ら 2000, 杉本 2004)。レンゲはこのような緑肥としての効果が科学的に明らかにされる以前から、水田の緑肥作物として広く栽培されてきた。蜜源作物としての利用もその栽培を促進してきた。しかし、戦後の化学肥料の普及に伴い、1970 年にかけてレンゲの作付面積は大幅に減少した (安江 1993)。

このようにレンゲ栽培は停滞してきたが、近年、環境保全型農業への関心の高まりと必要性から、レンゲの利用が見直される情勢となってきた。また、水田農業確立対策事業の後期スタートの 1990 年から、レンゲを含む景観形成作物が水田転換作物として一般作物の部に加えられ、レンゲ作付け意欲が刺激される情勢になってきた。それらのため、最近、レンゲの作付面積は増加しつつある (安江 1991)。このような情勢の中で、窒素固定による投入肥料の削減 (安江・岩瀬 1989) が可能な緑肥レンゲを窒素源とした低投入で持続的な水稻栽培 (嘉田 1990) の確立は重要な課題である。

レンゲ利用における収量評価試験は、これまで長谷川 (1995) や名越・廣瀬 (2008) によって行われているが、これらは長いもので 3 年であり、さらに長期間レンゲの利用を継続した場合における収量性の評価が必要と考える。

そこで、本研究では、除草剤を含む農薬と化学肥料を一切使用せず、裏作の緑肥レンゲのすき込みだけで水稻栽培試験を 17 年間継続し、収量性と問題点について明らかにした。

材料と方法

1. 試験区と栽培方法

試験は、静岡県藤枝市の静岡大学農学部附属地域フィールド科学教育研究センター持続型農業生態系部門 (北緯 $34^{\circ}54'$ 、東経 $138^{\circ}16'$ 、海拔 13 m) のグライ土の水田で行った。水田は、長辺が 70 m、短辺が 13.7 m の約 10 a で 1 筆 1 試験区で行った。試験区として、レンゲ無農薬栽培区、レンゲ有農薬栽培区および比較対照としての化学肥料区を設けた。

レンゲ無農薬栽培区では、1993 年から 1996 年の期間はレンゲ播種を行わず、早春の耕耘をしないで自生するレンゲを用い、1997 年から 2009 年まではレンゲのすき込み量を確保するため、中華人民共和国産のレンゲ種子を前年 10 月中旬に 10 a 当たり 2~3 kg 播種した。レンゲの生産量を知るために、5 月上旬に水田の 3~5 箇所 1 m^2 に生育している植物の刈り取りを第 1 表に示した期日に行い、天日乾燥後に風乾重を測定した。このとき、一部の年を除いて刈り取った植物のほとんどがレンゲであったことから、本報告ではこの植物体風乾重をレンゲ風乾重とした (第 1 表)。本田のレンゲ処理は、片野 (1990) の自然農法に則っ

第1表 年次別のレンゲ風乾重, レンゲ処理日および水稻移植日.

年 次	レンゲ風乾重		レンゲ処理日		水稻 移植日 (月日)
	無農薬区 (g m ⁻²)	有農薬区 (g m ⁻²)	刈払い日 (月日)	すき込み日 (月日)	
1993	533		4.27	5.14	6. 8
1994	—		5. 9	5.11	6. 8
1995	357		5. 9	5.24	6. 6
1996	—		5.10	5.15	6. 4
1997	266		5.16	5.19	6. 2
1998	426		4.30	5.15	6. 2
1999	548	—	5. 7	5.13	6. 3
2000	516	—	5.10	5.24	6. 1
2001	527	557	5. 1	5.28	6. 4
2002	516	494	5. 8	5.27	6. 3
2003	445	488	5. 7	5.28	6. 2
2004	485	663	5.12	5.27	5.31
2005	443	395	5.18	5.25	6. 1
2006	166	348	*	5.25	5.31
2007	184	270	5.15	5.28	6. 6
2008	584	702	5.13	5.27	6. 4
2009	201	283	5.20	5.28	6. 3

—はデータなし, *は刈払いなしで鋤込んだ. 2006, 2007年および2009年はアルファルファタコゾウムシの発生により無農薬区と有農薬区ともレンゲ風乾重にはスズメノテッポウが大半を占めた.

た方法で行った. すなわち, レンゲを生のままロータリー耕で鋤込むのではなく, レンゲの地上部をハンマーナイフまたはフレールモアで細断し, 放置して乾燥させた後, 第1表に示した期日にロータリーで耕耘して土と混和した.

5月下旬の入水後, 碎土と代掻きを行い, 第1表に示した6月初めに播種後21日苗を乗用型田植機によって条間30 cm × 株間16 cmで移植した. 供試品種には, 1993年が早生の‘キヌヒカリ’, 1994~2009年は早生の‘ひとめぼれ’を用いた. 栽培に際しては, 農薬を一切使用しなかった. 雑草対策として移植後2~3週に機械除草を行い, 残った草は中干しまでに手取りで出来る限り除去し, ヒエは種子を落とさないように収穫前に抜き取った. 中干しは, 7月10日頃から20日頃まで約10日間行った.

化学肥料区は, 2月下旬に土壌改良材のケイカルを160 g m⁻²施用して耕耘し, 5月中旬に再度耕耘した. 5月下旬に基肥として化学肥料を窒素, リン酸, カリの成分量でそれぞれ4~5, 5~7, 4~8 g m⁻²を全層施肥した. その後はレンゲ区と同様に移植作業を行った. 中干し後に穂肥として, 化成肥料を窒素, リン酸, カリの成分量でそれぞれ3, 1.3, 3.9 g m⁻²表面施用した. 雑草対策として移植後7日前後に除草剤(日産ダブルスター)を使用した. 病害虫の防除は, 移植前にニカメイチュウを対象とした箱施用薬(プリンス粒剤), 最高分けつ期頃にニカメイチュウとイネツトムシ防除の粒剤(パダン粒剤)および8月下旬に秋ウンカ, イ

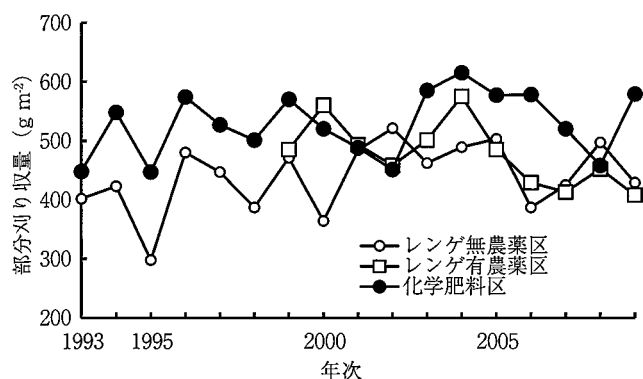
モチ病, 紋枯病防除のために水溶液散布(トレボン乳剤, カスラブサイドゾル, モンカットフロアブル)を合計3回, 年によっては4回行った.

レンゲの肥料効果と無農薬との要因を分けて評価するため, レンゲ有農薬区を試験開始後7年目の1999年から2009年まで設定した. この区の圃場管理は, レンゲの播種・細断・すき込みはレンゲ無農薬区と同様に行ったが, 除草剤を含む農薬については化学肥料区と同様に使用した.

2. 水稻の生育および収量調査

生育調査は, 移植後3週目から9週目まで1週間毎に, 各試験区の対角線の片方の等分点3箇所において, 各々連続する10株, 計30株の草丈, 分けつ数, 葉色を測定した. 葉色は, ミノルタ製の葉緑素計SPAD-502を用いて抽出中の葉の1枚下の葉の葉身中央部を測定し, SPAD値で表した.

成熟期の9月下旬に生育調査をした3箇所を含む水田の対角線の等分点5箇所において, 各箇所10株の稈長, 穂長, 穂数を測定した. 収量調査用の株は, 同10株を地際から刈り取り, ビニールハウス内で2週間程架干し乾燥した後, 脱穀を木屋製作所の採種用脱穀機を用いて, 粳摺りを大屋丹蔵製作所の坪刈り試験用粳摺機を用いて行った. 部分刈り収量を算出するため, 刈り取り箇所の栽植密度を測定した. 精玄米は, 1.80 mm目櫛の回転式米選機を使用して



第1図 年次別水稻収量の変遷。

調製した。精玄米千粒重は、精玄米20.0gの粒数を計数することによって算出した。収量 (g m^{-2}) は、各箇所の精玄米重量と栽植密度との積から算出した。収量調査で得られた平均値の区間差異の有意性について分散分析を用いて評価した。

結果と考察

1. レンゲ生産量の推移

第1表にレンゲ無農薬区とレンゲ有農薬区のレンゲ生産量(風乾重)、レンゲ処理日および水稻移植日を示した。レンゲは1993年から1997年は、自然に発生し、繁茂するのに任せていたため、レンゲ生産量は年により変動し、1995年および1997年は少なかった。そこで、種子を播種するようにした1998年以降、レンゲ生産量はおおむね安定していた。1998年から2005年までの8年間のレンゲ無農薬区における平均レンゲ生産量は、風乾重で $488 \pm 42 \text{ g m}^{-2}$ であった。レンゲ有農薬区のレンゲ生産量も、レンゲ無農薬区とはほぼ同様の傾向であった。ところが、2006年以降、マメ科植物を食害する新種の外来害虫アルファルファタコゾウムシの発生により、2006、2007年(浅井ら2008)および2009年のレンゲは殆ど食害を受け、これらの年の両レンゲ試験区ではレンゲ風乾重として示してはいるが、イネ科雑草のスズメノテッポウが大半を占めた。

2. 部分刈り水稻収量

第1図に年次別水稻収量の変遷を示した。レンゲ無農薬

区に限らず、化学肥料と農薬を使用する化学肥料区においても、気象要因によって収量の変動が見られた。1993年は夏季の冷温による平成の大凶作年、1995年は8月に雨が極端に少なく乾燥害を生じた年、1998年は8月が寡照・多雨であった年、2001年は度重なる台風の襲来を受けた年で、化学肥料区でも収量が低くなった。

水稻の無農薬栽培に取り組むに当たり、病害虫による甚大な被害が懸念されたが、レンゲ無農薬栽培区の17年間で問題となったのは、特定の害虫に限られたものであった。すなわち、1993年から2000年にかけてニカメイチュウが発生し、特に、2000年は、同被害により収量が 400 g m^{-2} を下まわった。この期間は化学肥料区においても、薬剤の選択や使用時期次第では、被害が出る状況であった。

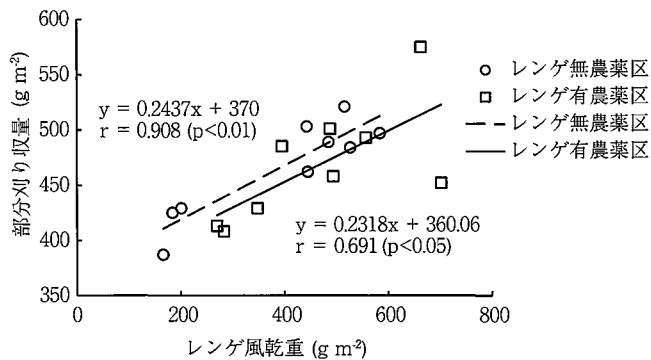
2001年以降は、レンゲ無農薬区においてもニカメイチュウの発生は見られなくなった。ニカメイチュウ以外にも、ツマグロヨコバイ、セジロウンカ、イネツトムシ、イナゴ、コブノメイガ、カメムシの発生が年により見られたが、ニカメイチュウのように重大な問題とならなかった。病害は、レンゲ無農薬区でモンガレ病、シマハガレ病が散見されたが、大きな問題となることはなかった。その逆に、有農薬栽培の化学肥料区で2001年と2002年に心枯れセンチウ病が発生し、特に2002年の被害は甚大で、化学肥料区は著しく減収した。化学肥料区とレンゲ有農薬区においてほぼ100%発病したが、レンゲ無農薬区は発病した個体が2割強と少なかった。同じ種子を使ったにも係わらず、栽培法の違いにより発病の程度にこのような大きな差が生じたかは不明である。また、2004年から無農薬、有農薬に関係なく全ての水田において、外来生物のスクミリンゴガイが発生し、例えば2008年の化学肥料区の減収要因となった。

以上のことを踏まえて、レンゲ無農薬区において収量に大きく影響を及ぼした気象災害とニカメイチュウの発生が見られた1993～2000年までの8年間(前半期間)と、ニカメイチュウの発生が見られなくなった2001～2009年までの9年間(後半期間)に分けて、第2表に収量に関する比較を試みた。レンゲ無農薬区の収量の平均値は、前半期間が $409 \pm 60 \text{ g m}^{-2}$ 、後半期間が $466 \pm 44 \text{ g m}^{-2}$ であり、後半期間は前半期間の1.14倍であった。化学肥料区は、前半期間が $517 \pm 49 \text{ g m}^{-2}$ 、後半期間が $539 \pm 61 \text{ g m}^{-2}$ で、後半期間の増加は前半期間の1.04倍に留まった。収量の平

第2表 部分刈り水稻収量の比較。

期 間	レンゲ無農薬区 (g m^{-2})	レンゲ有農薬区 (g m^{-2})	化学肥料区 (g m^{-2})
1993～2000年の8年間平均	409 ± 60	—	517 ± 49
2001～2009年の9年間平均	466 ± 44	468 ± 52	539 ± 61
内、アルファルファタコゾウムシ未発生の6年間	493 ± 20	494 ± 44	529 ± 72
内、アルファルファタコゾウムシ発生の3年間	414 ± 23	417 ± 11	559 ± 34

平均値 $\pm$ 標準偏差。1993～2000年はニカメイチュウが多発し、2001～2009年は発生がなかった。アルファルファタコゾウムシの発生年は、2006、2007年および2009年で、未発生年は、2001～2009年から同3ヵ年を除いた年次。



第2図 ニカメイチュウ無発生期間におけるレンゲ生産量と水稻収量の関係。
ニカメイチュウの発生がなかった2001年から2009年までのデータ。

均値のレンゲ無農薬区／化学肥料区の比は、前半期間が79%で、後半期間が86%とその差は小さくなった。後半期間に設定した農薬を使うレンゲ有農薬区とレンゲ無農薬区を比較すると、レンゲ有農薬区は $468 \pm 52 \text{ g m}^{-2}$ でレンゲ無農薬区の $466 \pm 44 \text{ g m}^{-2}$ とほぼ等しく、ニカメイチュウの発生の無い年は、無農薬栽培でも有農薬栽培と変わらない収量が得られた。また、後半期間の9年間の内、2006、2007年および2009年は、外来害虫アルファルファタコゾウムシの食害により、レンゲ生産量がほぼ皆無となった。その3年間を除いた後半期間6年間の平均収量は、レンゲ無農薬区が $493 \pm 23 \text{ g m}^{-2}$ であり、化学肥料区の収量の93%であった。

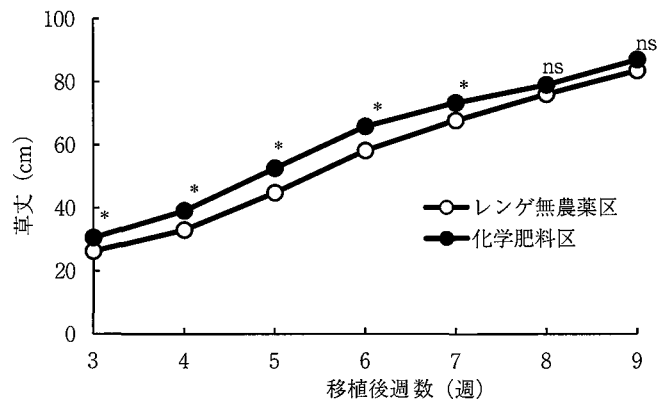
レンゲ生産量と収量との相関係数はニカメイチュウ被害の発生があったレンゲ無農薬区の前半期間で $r = 0.162$ (n.s.)、第2図に示すように同被害がなかった後半期間で $r = 0.908$ ($p < 0.01$)、レンゲ有農薬区の後半期間で $r = 0.691$ ($p < 0.05$) となった。このように、レンゲ無農薬区とレンゲ有農薬区の収量は緑肥レンゲの生産量(風乾重)に比例し、回帰式はレンゲ無農薬区が $y = 0.2437x + 370$ 、レンゲ有農薬区は $y = 0.2318x + 360$ で表されることが明らかとなった。

3. 水稻の生育特性

生育調査を行ったレンゲ無農薬区および化学肥料区の週別推移は、試験開始から2000年までの8年間は、ニカメイチュウ被害の影響が強く現れて、レンゲ無農薬区における生育特性を明らかにすることが困難であった。そこで、ニカメイチュウの発生が見られなくなった2001年から2009年までの9年間の調査データを用いて、生育特性を明らかにすることを試みた。

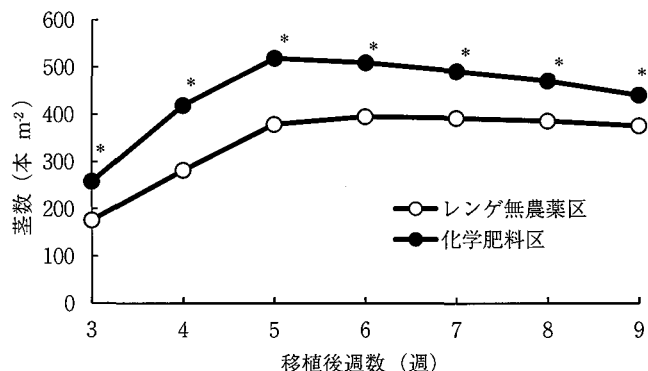
(1) 草丈の推移

第3図に草丈の推移を示した。移植後3週目において、化学肥料区とレンゲ無農薬区に差が見られた。その差は、移植後5、6週目には広がった。その後レンゲ無農薬区



第3図 水稻草丈の推移。

2001年～2009年の平均。*は両試験区間に5%水準で有意差があること、nsは無いことを示す(分散分析)。



第4図 水稻茎数の推移。

2001年～2009年の平均。*は両試験区間に5%水準で有意差があることを示す(分散分析)。

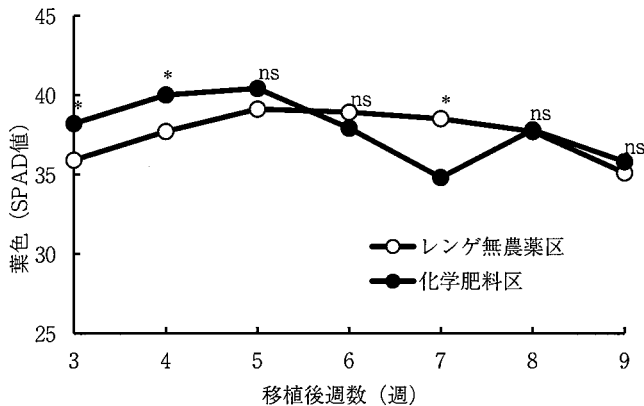
と化学肥料区の差は、移植後8、9週目で縮まった。このように、レンゲ無農薬区は、初期に生じた差がその後小さくなったが、最終的にはその差は小さくなった。

(2) m^2 当たり茎数の推移

第4図に m^2 当たり茎数の推移を示した。化学肥料区は移植後5週目が、レンゲ無農薬区は移植後6週目が最高分げつ期であることがわかった。両区を比べると、移植後3週目にはすでに有意な差が見られ化学肥料区が多く、移植後5週目にはその差は最大となり、移植後6週目以降化学肥料区は漸減したが、レンゲ無農薬区は減少の程度が小さく、移植後9週目にはその差は縮まった。このことは、移植後3週目の時点で両区の m^2 当たり茎数に差が生じ、多少縮まったものの、移植後3週目の差がそのまま最終的な差となったことが分かった。また、化学肥料区は無効分げつが多く、レンゲ無農薬区は無効分げつが少ないことが分かった。

(3) 葉色値の推移

第5図に葉色値の推移を示した。レンゲ無農薬区では、移植後5週目に最大値を示し、その後、緩やかに低下した。化学肥料区では、移植後5週目に最大値を示したが、その



第5図 水稻葉色の推移。

2001年～2009年の平均。*は両試験区間に5%水準で有意差があること、nsはないことを示す（分散分析）。

後急激に低下し、移植後7週目近辺での穂肥の施用により8週目に再び上昇し、その翌週に再び低下した。移植後8週目には両区ともほぼ同じ値となった。両区とも最大値となったのは移植後5週目で同じであったが、化学肥料区ではそれより1週早く移植後4週目でレンゲ無農薬区の最大値よりも大きい値となった。これらのことより、葉色値の推移も m^2 当たり茎数と同様にレンゲ無農薬区は、化学肥料区より1週間程遅れることが分かった。

(4) 成熟期の諸特性

第3表に2001年から2009年までの9年間の主要形質の平均値を示した。稈長は、レンゲ無農薬区が 77 ± 5 cm、化学肥料区が 83 ± 4 cmであった。レンゲ無農薬区は、2002年を除いて化学肥料区より有意に短かった（データ省略）。2002年は、化学肥料区がイネ心枯線虫病に罹病したことが原因で伸長が抑制され、レンゲ無農薬区より短かった。穂長は、レンゲ無農薬区 19.2 ± 0.8 cm、化学肥料区が 19.8 ± 0.6 cmで、両試験区間の差は小さかった。 m^2 当たり穂数は、レンゲ無農薬区が 335 ± 35 本、化学肥料区が 377 ± 25 本で、レンゲ無農薬区は化学肥料区と比べて1割程少なかった。もみわら比は、レンゲ無農薬区が 1.03 ± 0.06 、化学肥料区が 1.03 ± 0.05 で差は認められなかった。精玄米千粒重は、レンゲ無農薬区が 21.5 ± 0.5 、化学肥料区が 22.1 ± 0.7 で、レンゲ無農薬区は化学肥料区より3%程有意に軽かった。

上村ら（1983）、鈴木ら（1994）、酒井・山本（1999）および前田（2001）は、有機農法では慣行農法に比較して初期生育が劣るのは、有機物の分解が遅いために窒素の無機化が遅く初期生育が窒素不足になるためであると指摘している。玉置ら（2002）も、有機農法の水稲が慣行農法に比べて生育が劣り、葉色が淡く経過したのは、生育初期における土壌中の窒素の無機化が慣行農法に比べて遅かったことに加えて、肥効が劣ったことによるものと考えている。本研究においても、レンゲ無農薬栽培水稻の特徴は、初期生育が緩慢であることが明らかであった。生育初期のレンゲ無農薬栽培水稻は、化学肥料栽培と比べて草丈が低く、分けつ数が少なく、そして葉色値が低いという明らかな生育の遅れが見られた。

安江・比良（1990）は、化学肥料区では水稻移植当初にアンモニア態窒素濃度が高く、レンゲ区では移植後はやや低いと報告している。葉色と葉の窒素含量との間には、密接な関係があることが知られており（稲田 1994）、葉色値の推移が吸収された窒素量を反映すると考える。緑肥レンゲ栽培は化学肥料栽培と比べて明らかに生育初期の葉色値が低いことから、水稻の吸収窒素量が少ないことが推察された。この生育初期の差は生育後期には縮まるが、その傾向はそのまま成熟期においても見られ、レンゲ無農薬栽培水稻は化学肥料栽培より稈長が短く、穂数が少なく、精玄米千粒重が軽いという結果となって現れた。

また、レンゲ由来の生育阻害物質による生育障害が考えられる。安江（1991）は、緑肥レンゲの施用法によってはレンゲが発酵して生成される有機酸による活着不良や養水分の吸収阻害が引き起こされて初期生育が抑制されることがあると述べている。有機酸の分析は行っていないが、本試験においても障害を起こしたことが考えられる。

4. ニカメイチュウの被害と穂数の関係

化学肥料区の m^2 当たり穂数は、第6図に示すように水不足の影響を受けた1995年の270本を除けば、毎年ほぼ安定して400本前後であった。レンゲ無農薬区は、1995年が230本 m^2 と非常に少なく、1995年を除いても300本 m^2 から385本 m^2 の間で400本 m^2 を越えることはなかった。‘ひとめばれ’を供試した16年間のレンゲ無農薬区の平均穂数は 330 ± 39 本 m^2 、化学肥料区は 379 ± 36 本 m^2 で、

第3表 水稻における成熟期の諸形質（2001～2009年の9年間）。

形質	レンゲ無農薬区	レンゲ有農薬区	化学肥料区
稈長 (cm)	76.8 b	76.3 b	83.3 a
穂長 (cm)	19.2 ab	18.6 b	19.8 a
m^2 当たり穂数 (本)	335.1 c	373.6 ab	377.3 a
もみわら比	1.0	1.0	1.0
精玄米千粒重 (g)	21.5 ab	21.4 b	22.1 a

異なるアルファベット間では、Tukey法により5%水準で有意差があることを示す。

レンゲ無農薬区が化学肥料区を上回ったのは2008年のみであった。

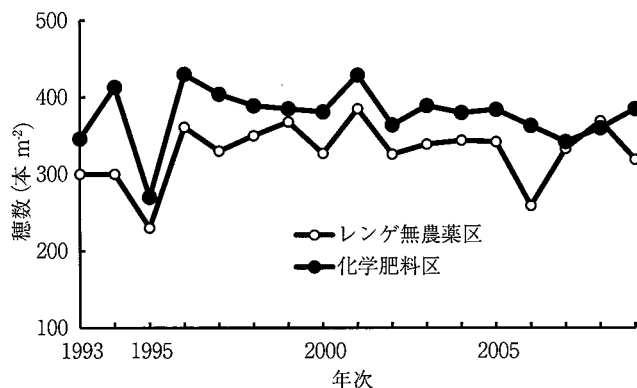
レンゲ区において1993年から1997年までと2000年は第4表に示したようにニカメイチュウが発生し、また化学肥料区より多く、有効茎歩合（第7図）および穂数に少なからず影響を及ぼした。ニカメイチュウの発生が無い年のレンゲ無農薬区の有効茎歩合は、化学肥料区より高かったが、ニカメイチュウが発生した1994、1995、1996年および2000年のレンゲ無農薬区の有効茎歩合は化学肥料区より低くなり、穂数もニカメイチュウの発生が無い年と比べて1割強減少した。ニカメイチュウの被害株調査を行った1993～2002年のレンゲ無農薬区において、ニカメイチュウの被害株率と有効茎歩合との間の相関係数は $r = -0.533$ ($P = 0.113$)であった。このことから、レンゲ無農薬区の有効茎歩合の減少は、被害株率の増加によるところが大きいことがうかがえた。

レンゲ無農薬栽培で農薬を使用しなかったことによって減収に結びつくような病害は見られなかったが、虫害は重大な減収要因となった。問題となった害虫は、ニカメイチュウで、移植後5～6週目の最高分げつ期頃に発生・加害が見られ、分げつを抑制し、有効茎歩合を低下させ、その結果穂数を減少させ、収量の減少に直結した。平井（1994）は、近年におけるニカメイチュウの発生動向について、発生面積が減少に転じたのは1972年で、それ以降減少し続けていると報告している。しかし、1988年以降は各地域で微増傾向にあり、‘キヌヒカリ’や強稈多収の‘黄金晴’などの茎の太い品種を栽培している地域で発生が目立っていると述べている。当試験地においても1993年以前は‘黄金晴’や‘キヌヒカリ’を作付けしており、このような状況下で本試験を開始したことから、レンゲ無農薬栽培において1997年までの5年間はニカメイチュウの被害が大きかったものと推察された。その結果、ニカメイチュウの発生年の平均収量は、大きく減少した。

石倉（1982）は、農林水産省作物被害統計からニカメイチュウによる被害面積10a当たり減収量の平均は、おおむね11～13 kg/台と算出した。しかし、本試験の減収量は10a当たり60 kg前後と推察され（第2表）、石倉の算出した減収量より多かった。一方、本試験における化学肥料栽培では、ニカメイチュウの発生年と未発生年の平均収量に大きな差は見られなかった。このことは、化学肥料区の初期生育が良好なため、ニカメイチュウの被害を受けても、その後回復できたためによると思われる。

5. レンゲのすき込みによる水稻の収量性

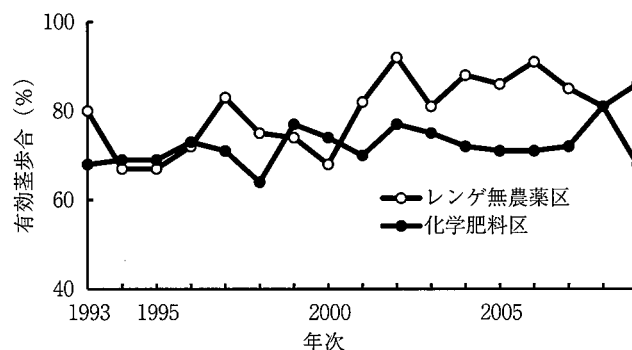
虫害の要因を排除するために試験開始7年目から平行して行ったレンゲ有農薬栽培の平均収量は、無農薬レンゲと殆ど同じであった。齊藤ら（2001）は、水稻の有機栽培に関する継続試験で、基肥に堆厩肥と発酵鶏糞、追肥にナタネ油粕を用いることにより、化学肥料と同等の肥効が確保



第6図 年次別水稻穂数の変遷。

第4表 1993～2002年における年次別のニカメイチュウ発生状況。

年次	被害株調査		被害株率 (%)	
	調査日 (月日)	調査株数 (株)	レンゲ 無農薬区	化学肥料区
1993	8.10	4050	19.1	16.9
1994	7.30	200	47.0	3.0
1995	7.25	30	36.7	30.0
1996	7.30	30	83.3	36.7
1997	7.28	30	50.0	3.3
1998	8.11	150	0.0	0.0
1999	7.29	30	0.0	0.0
2000	7.27	30	76.7	0.0
2001	8.6	30	0.0	0.0
2002	7.30	30	0.0	0.0



第7図 年次別水稻有効茎歩合の変遷。

され、除草剤を施用しなくてもヒエ抜きを行うことにより、慣行栽培の約90%程度の収量が確保されたと報告している。本研究においても、ニカメイチュウの発生が無かった2001年からの9年間の内、アルファルファタコゾウムシの食害が無かった年は、緑肥レンゲだけで化学肥料栽培の93%程度の収量が確保された。

安江・岩瀬（1989）は、レンゲのすき込みは水稻の収量を低下させることなく基肥を代替し得るとしたが、穂肥の

施用は行っていた。川瀬・北島(1993)もレンゲ跡の早植え水稻の生産安定肥培管理法において基肥窒素は未施用としたが穂肥窒素は減肥を主体とするが生育診断に基づきその量を決めるとし、施用していた。本研究では、早生品種を供試し、穂肥の施用も行わなかったが、生育期間の短い早生品種であれば、大きな虫害のない条件で、緑肥レンゲのみで大きな減収を伴わず水稻栽培が可能であることが示唆された。

謝辞：研究の端を開いて頂いた九州東海大学片野学博士と自然農法実践家故中村雄一氏に感謝の意を表します。また、元静岡大学農学部附属農場技官 青木包雄氏に栽培管理ならびに技術補助を頂いた。ここに深く感謝の意を表します。

引用文献

- 浅井辰夫・南雲俊之・西川浩二 2008. 外来害虫アルファルファタコゾウムシの食害により皆無となった緑肥レンゲを用いた持続的水稻栽培の収量. 東海作物研究 138 : 11.
- 長谷川浩 1995. レンゲ, 不耕起, 成苗移植およびコイ放飼を基幹とする低投入持続型水稻栽培 2. 収量特性および窒素栄養特性. 日作紀 64(別1) : 50-51.
- 平井一男 1994. 近年におけるニカメイチュウの発生動向. 植物防疫 48 : 51-52.
- 稲田勝美 1994. “緑”を計る (6) 農業および園芸. 69 : 291-296.
- 石倉秀次 1982. ニカメイチュウの防除, 発生と被害の四半世紀の動向. 植物防疫 36 : 380-386.
- 嘉田良平 1990. 環境保全と持続的農業. 家の光協会, 東京. 1-259.
- 上村幸廣・宇田川義夫・松原弘一郎・井ノ子昭夫 1983. 有機物施用によるシラス水田土壌の生産力増強. 土肥誌 54 : 131-136.
- 片野学 1990. 自然農法のイネづくり—生育のすがたと栽培の実際. 農文協, 東京. 1-246.
- 川瀬昭・北嶋敏和 1993. レンゲ跡水稻の生産安定肥培管理法. 土肥誌 64 : 444-447.
- 前田忠信 2001. 堆肥連年施用水田と化学肥料連年施用水田における低農薬栽培した水稻収量の年次変動とその要因. 日作紀 70 : 525-529.
- 名越時秀・廣瀬友二 2008. 不耕起移植栽培におけるレンゲ (*Astragalus sinicus* L.) の利用が水稻の生育・収量に及ぼす影響. 農業生産技術管理学会誌. 15 : 1-8.
- 齊藤邦行・黒田俊郎・熊野誠一 2001. 水稻の有機栽培に関する継続試験—10年間の生育収量—. 日作紀 70 : 530-540.
- 酒井憲一・山本富三 1999. 家畜ふん堆肥の窒素無機化予測および被覆肥料の利用による水稻施肥量の削減と環境負荷低減. 土肥誌 70 : 185-189.
- 杉本秀樹・黒野真伸・高橋圭子・河野靖・佐藤亨 2000. 夏ソバに対する緑肥レンゲの有効性. 日作紀 69 : 24-30.
- 杉本秀樹 2004. 緑肥レンゲのすき込み時期ならびにその量が夏ソバの開花・結実に及ぼす影響. 日作紀 73 : 424-430.
- 鈴木雅光・長谷川憲・宮野齊・大場伸一 1994. 水稻の無農薬・無化学肥料栽培の基本指標. 山形農試研報 28 : 39-56.
- 玉置雅彦・猪谷富雄・中野尚夫 2002. 有機農法継続年果が異なる水稻の生育と収量—山口県下での一事例—. 日作紀 71 : 439-445.
- 安江多輔・岩瀬明彦 1989. 生育段階を異にしたレンゲの水稻に対する肥効. 日作紀 58(別2) : 33-34.
- 安江多輔・比良佳久 1990. レンゲ施用水田土壌溶液中のアンモニア態窒素濃度の推移と水稻の生育及び収量. 日作紀 59(別2) : 33-34.
- 安江多輔 1991. レンゲ栽培・利用の変遷と肥効及び地力増進効果. 日作紀 60 : 583-592.
- 安江多輔 1993. レンゲ全書. 農文協, 東京. 1-239.

Variation in Yield of Paddy Rice Cultivated for 17 Successive Years Using Chinese Milkvech (*Astragalus sinicus* L.) as Green Manure and its Causal Factors: Tatsuo ASAI¹⁾, Kiyoshi HIRANO²⁾, Setsuko MAEDA³⁾, Hiroyuki TOBINA¹⁾ and Kouji NISHIKAWA¹⁾ (¹⁾Cent. for Edu. and Res. of Field Sci., Fac. of Agr., Shizuoka Univ., Fujieda 426-0001, Japan; ²⁾Natl. Inst. Livest. and Grassl. Sci.; ³⁾Shizuoka Eiwa Gakuin Univ. Juni. Coll.)

Abstract : The effects of green manure fertilization (Chinese milkvech) and pesticide application on the grain yield of early maturing rice variety were examined for 17 successive years in the paddy field of Shizuoka University. Green manure without pesticide (only weeds were removed with a weeder and by hand ;GM) were applied from 1993 to 2009, green manure and pesticide (GMP) from 1999 to 2009, chemical fertilizer and pesticide (CFP) from 1993 to 2009. According to weather fluctuation and the damage by rice stem borer from 1993 to 2000, the average rice grain yield in the GM plot during this period was 409 g m⁻², while that during the nine years after 2001 was 466 g m⁻², which was the same as that in the GMP plot (468 g m⁻²). On the other hand, the average rice grain yield in the CFP plot was 517 g m⁻² from 1993 to 2000 and 539 g m⁻² after 2001. The biomass yield of Chinese milkvech was decreased by the feeding by the exotic insect in the GMP and GM plot in 2006, 2007 and 2009. Thus, the average biomass yield in the GM plot during those three years was 414 g m⁻², although that in the other years was 493 g m⁻² which was 93% of that in the CFP plot. A close positive correlation was observed between the amount of Chinese milkvech applied and the rice grain yield. Therefore, the effect of the application of Chinese milkvech was retarding of early growth of rice.

Key words : Chinese milkvech, 17 successive years, Early growth, Factor of yield decrease, Green manure, Growth characteristic, Paddy rice, Yielding ability.