

総 説

レンゲ栽培・利用の変遷と肥効及び地力増進効果

安 江 多 輔

(岐阜大学農学部)

The Change of Cultivation and Utilization of Chinese Milk Vetch (*Astragalus sinicus* L.), and the Effect of Fertilizer and Soil Fertility on Paddy Field as a Green Manure

Tasuke YASUE

(Faculty of Agriculture, Gifu University, Yanagido 1-1, Gifu 501-11, Japan)

はじめに

レンゲは明治から大正・昭和にかけて、水田の裏作緑肥作物として、わが国の近代稲作農業の発展に大きく貢献してきた。しかし、化学肥料特に化成肥料の発達と普及、家畜の役畜的飼育から用畜的飼育、とりわけ企業的多頭飼育への変貌とそれに伴う飼料の給与体系の変化並びに田植えの早期化などにより、レンゲ栽培は1960年頃から、ムギやナタネの衰退と時を同じくして急速に縮小した。

一方、化学肥料の普及で水稻の収量は飛躍的に増加し、多肥栽培は品種の改良や農薬の普及と相まって、安定多収の基本技術となった。しかし、堆肥や厩肥などの有機質肥料が使われなくなり、化学肥料に頼りすぎた結果、土壤の物理性が悪化して基礎地力が低下し、生産力の減退や気象変化への対応力の低下などが問題視されるようになった。今後の作物栽培においては、種々の先端技術を活用した高度の稲作技術の開発が必要であるが、同時に土地利用型の農業においては、生産手段としての農地の永続的な利用と生産向上のため、地力の涵養をはかることは極めて重要なことであり、地球環境への視野に立った Sustainable Agriculture (持続可能な農業) を指向する必要がある。

地力の涵養には、堆肥や厩肥など有機物の施用が基本であるが、今日では材料の入手や製造及び施用の労力や経費などからみて、その実行は容易ではない。大多数の農家では堆肥及び厩肥の材料を得ることがまず第一に困難である。仮に材料が得られたとしても、その製造及び施用にはかなりの労力が必要である。堆肥の製造及び施用の省力機械化は可能であるが、わが国の現在のような経営規模では、設備や機械への投資が益々増大し、その結果生産コストは高騰し、国際競争力を益々弱めることは必定であ

る。

有機物の連用による水田土壤の物理・化学的性質の改善効果は、畑土壤に比べて小さく、また、土壤の種類、施用有機物の種類及び地域によってその効果は異なるが、化学肥料単用区に比べて明らかに土壤有機物が集積し、土壤は次第に膨軟化することが全国的調査結果から明らかにされている³⁰⁾。

レンゲはその根に共生する根粒菌の働きによって空気中の窒素を固定し、利用するので、窒素肥料を施さなくてもよく生育し、茎葉及び根部には窒素その他の肥料成分を多く含んでいるので、作物に対する肥料としての効果と、土壤に対する有機物の供給源としての二つの効果が期待される。

以下にわが国におけるレンゲ栽培・利用の変遷とレンゲの肥効及び地力増進効果について述べる。

I. レンゲ栽培利用の変遷

1. レンゲ栽培の歴史

レンゲの原産地は中国であり、長江(揚子江)の南の湖水地域では約1000年の昔から栽培されていたようである。わが国へは小野妹子によって導入されたとか、奈良の唐招提寺を建てた唐僧鑑真が持ち込んだとの説があり、また、レンゲの花がハスの花に似ていることから、弘法大師が仏教の伝道に利用し、無縁仏の墓地に蒔いて供養の具にしたとの説があるが、これらを立証する資料はない^{27,38)}。

一方、万葉集その他の文学書にみられる回具(恵具)、土針及び須美礼をレンゲとする説がある²⁷⁾が、これら文学書による考証は、その植物についての特性の記載や付図がなく、ただ単に題材として取り上げられているにすぎないので、文意や情景から判断しなければならない点で、決め手を欠いている。

植物関係の書物にレンゲの記載が初めてみられる

第1表 江戸時代末期までに導入された地方(末次²⁷⁾, 一部修正).

時代	地方名
1700頃以前 (江戸前期以前)	京畿, 筑紫, 江州*, 美濃, 三河, 遠江
1700~1800 (江戸中期)	尾張, 伊勢, 備前, 備中, 長門, 周防, 越中, 磐城, 出雲
1800~1868 (江戸後期)	四国(瀬戸沿海地方)*, 静岡, 石川, 福井, 高知, 関東の一部(川越付近), 佐賀*, 大分*, 長崎*, 宮崎*, 鳥取*

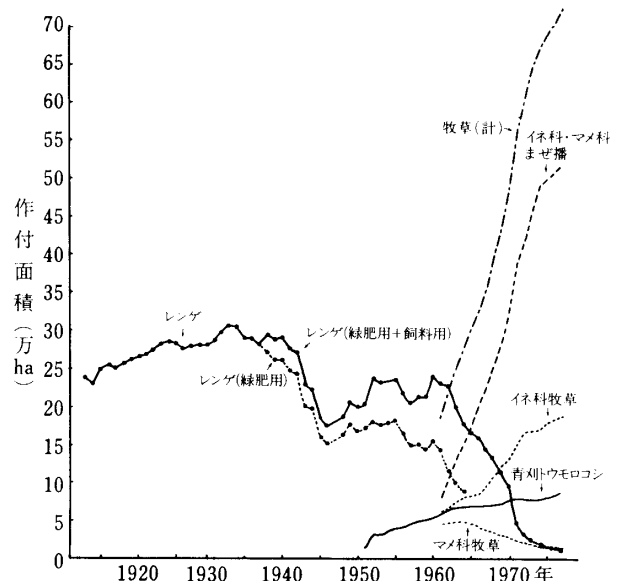
*口伝もしくは推定によるもの.

のは, 貝原益軒の「大和本草」(1708年)であり, 「京畿の小児これをれんげばなと云ふ, 筑紫ではほうぞうばなと云ふ. 3月花さく赤白色にて高さ3, 4寸あり, 小児取あつめて其の茎をくくり合わせ玩弄とす. 山野なき地には此草を圃に植えて其の茎葉を馬に飼ふ. 其の葉若き時食す. 食物本草救荒野譜にのせたり。」と記されている. また, 小林寛利の「地方袖中録」(1719年)には「美濃国などにてゲングといふ物を苜田の跡へ蒔置, 春に成り花咲実れるを苜取干して馬の飼料に用ゆ」と記されている.

これらのことから, 1700年代の初期には京畿, 筑紫及び美濃などでは, レンゲが水田の裏作に栽培され家畜の飼料に用いられていたことは明らかである.

そして, 江戸末期迄に導入された地方は第1表に示したように, 新潟県を除く中部地方以西のほぼ全域に及んだ³⁸⁾. さらに, レンゲは温暖な乾田地帯から次第に積雪寒冷地へと伝播し, 明治時代の末期には青森, 秋田及び北海道を除く全国各地で栽培が行われた²⁷⁾.

レンゲがわが国の統計面に最初に記録されたのは1895年であり, 特用作物の項に, 岐阜県における作付面積が57.4町歩(56.9ha)と記されている(第12次農商務省統計表, 1897年). しかし, その他の県についての記載はなく, また, その後10数年間は統計面に記録はみられない. 1909年に初めて緑肥作物の項が設けられ, 北海道, 青森, 秋田, 山形及び沖縄を除く全国各地の栽培面積が記されており, 総作付面積は204,742haに及んでいる. 大正時代には秋田, 沖縄, 青森及び山形へと普及し, 1926年には北海道にも導入された²⁷⁾. 農林省統計表にみられるレンゲ作付面積の推移を第1図に示した. 大正初期の約23万haから大正末期にかけて次第に増加し, 1925年には282,817haに達した. その後, 昭和の初めの5年間は世界的農業恐慌を反



第1図 レンゲ, 青刈トウモロコシ及び牧草の作付面積の推移(農林省統計表より作図).

映して, レンゲの作付面積の減少または停滞がみられたが, 1931年以降再び増加し, 1933年の303,766haを頂点としてその後次第に減少した.

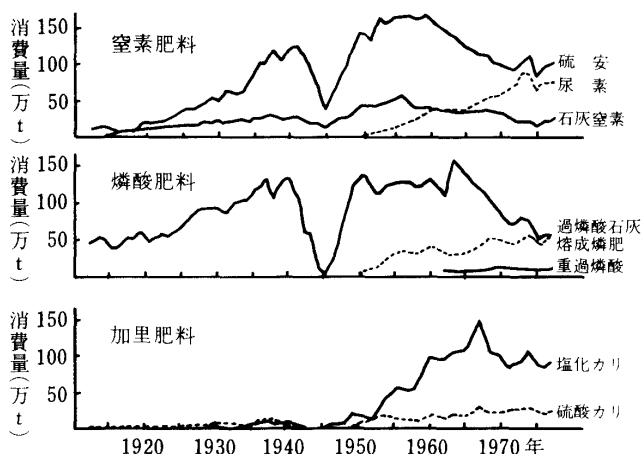
戦後再び作付面積は増加したが, 戦前のレベル迄は回復せず, 緑肥用は1955年の約18万haをピークに, また, 緑肥・飼料用の合計作付面積は1960年の約24万haをピークとして, その後急速に減少し, 1986年の作付面積は飼料用として4,370haにすぎない³⁸⁾. なお, レンゲは農林省統計表では1937年までは専ら緑肥作物として扱われていたが, 1938年から1969年までは緑肥用と飼料用の用途別に記載され, 1970年以降は専ら飼料用としてのみ記載され, 緑肥レンゲの作付面積は農水省の統計表にはみられない.

2. 農業技術の変遷とレンゲの盛衰

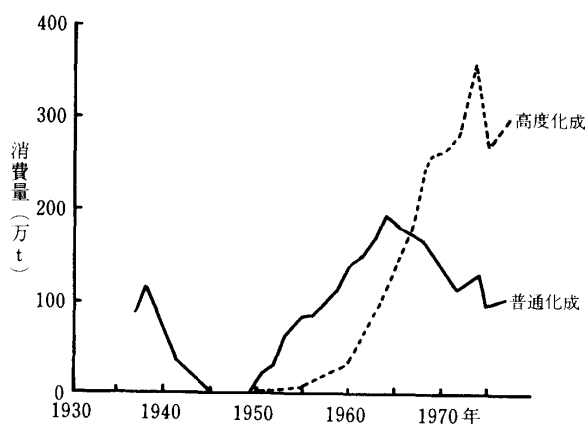
1) 化学肥料の発達普及とレンゲの盛衰

わが国の主要な窒素, 燐酸及び加里肥料の消費量の推移を第2図に示した. レンゲ作付面積が減少し始めた1933年頃は硫酸アンモニウム及び過燐酸石灰の消費量が急速に増加していることがわかる.

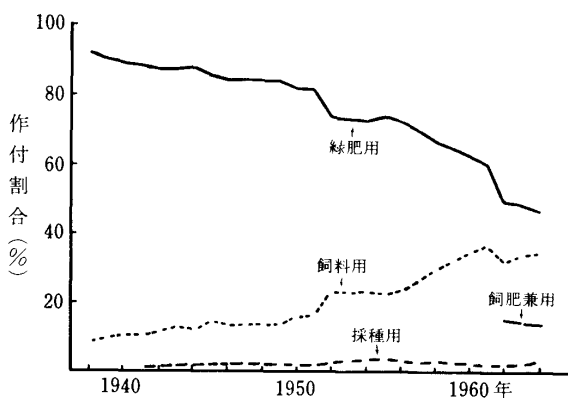
これら単肥の消費量の停滞とそれに続く減少と対照的に化成肥料の消費量が急増している(第3図). そして, この化成肥料, 特に高度化成の消費量の急激な増加と対照的にレンゲの作付面積が急減している. したがって, 1935年頃のレンゲ作付面積の減少は硫酸安や過石など化学肥料の普及によるものであり, 1960年以降の急激な減少は化成肥料の普及によるところが大きいと考えられる.



第2図 主要窒素、磷酸及び加里肥料の消費量の推移 (肥料年鑑1955, 1961及び1979より作図)。



第3図 化成肥料の消費量の推移 (肥料年鑑1955, 1961及び1979より作図)。



第4図 レンゲの用途別作付面積割合の推移 (農林省統計表より作図)。

2) 畜産の変貌とレンゲの盛衰

前述のように、水田裏作緑肥作物として、わが国の近代稲作農業の発展に貢献してきたレンゲは、化成肥料を主体とした追肥重点主義の水稲の施肥体系への変化により、緑肥としての比重が低下した。

一方、畜産の振興に伴って飼料としてのレンゲの

利用は増大した(第4図)。農林省の統計表上緑肥作物として扱われてきたレンゲは1938年から緑肥作物と青刈飼料作物の両方に登載されている。その後、緑肥及び飼料作物、飼肥料作物と名称が代わり、1970年以降は飼料作物の項にのみ登載され、今日に至っている。

レンゲはアルファルファ、ラジノクローバ及びレッドクローバなど代表的なマメ科牧草とほぼ同等の飼料価値を有する(第2表)。また、レンゲミールは麩に匹敵する飼料価値を有し、麩の代替飼料として利用できる⁸⁾。飼料としての利用は刈り取って生のまま、あるいは乾燥して、またはサイレージとして給与される。

しかし、畜産は農家の役畜的飼養から畜産専門の用畜的飼養、とりわけ、企業的多頭化へと変貌し、それに伴って、輸入飼料への依存度の高い飼料給与体系または大規模草地を主体とした飼養への変貌により、飼料としてのレンゲの利用は低下した。

第4図はレンゲの用途別の作付面積の割合を示したものである。総作付面積に対する緑肥用レンゲの割合は1938年には92%であったが、その後緑肥用の比率は次第に低下し、1962年以降は50%以下に低下した。1964年以降は緑肥用の面積が示されていないので明らかでないが、緑肥用の比率はさらに低下しているものと考えられる。飼料用レンゲの比率は緑肥用の低下と対照的に増加しているが、第1図から明らかなように、牧草や青刈トウモロコシ等の飼料作物の作付面積の増加と対照的にレンゲの作付面積が減少した。

3) 水稲栽培の早期化とレンゲの盛衰

従来、わが国の稲作は4月上旬～5月中旬に苗代に種を蒔き、5月中旬～7月上旬に本田に移植し、9月～11月に収穫が行われていた。しかし、育苗技術の発達や稚苗の機械移植栽培の普及などにより、3月に播種し、4月下旬に移植する早期栽培が普及した。したがって、春先、レンゲの生育の遅い地域では、裏作にレンゲを栽培し、レンゲの後に水稲の早期栽培を行うことが困難になり、早期栽培の普及がレンゲの衰退に拍車をかけた。

レンゲ作付面積にみられる上位10県は第3表にみられるように、1955年までは、富山、長野、石川、栃木及び新潟など東北及び関東・東山地域にレンゲ栽培の多い県がみられたが、現在これら地域でのレンゲ栽培は皆無に近い。一方、1978年には鹿児島、宮崎、大分、熊本、長崎の九州5県及び愛

第2表 レンゲと主要マメ科牧草との飼料成分および可消化成分(牛)の比較。(森本宏「飼料学」1979より作表)。

	組成	レンゲ		レッドクローバ		ラジノクローバ		アルファルファ	
		生草	乾草	生草	乾草	生草	乾草	生草	乾草
含有率 (%)	水分	88.4	13.9	84.0	17.3	85.3	8.8	80.1	15.2
	粗蛋白質	2.6	16.1	2.7	12.7	3.6	20.9	3.2	14.8
	粗脂肪	0.6	2.5	0.6	2.5	0.9	3.1	0.6	2.3
	可溶無窒素物	5.1	37.6	7.1	36.7	6.2	41.1	8.1	32.3
	粗セル維	2.3	23.2	4.0	23.8	2.8	17.5	6.2	27.1
	粗灰分	1.0	6.7	1.6	7.0	1.5	8.6	1.8	8.3
消化率 (%)	粗蛋白質	71	65	68	58	81	-	77	77
	粗脂肪	67	50	59	50	60	-	46	36
	可溶無窒素物	79	68	76	70	84	-	72	70
	粗セル維	57	49	55	51	67	-	51	45
DM	(%)	11.6	86.1	16.0	82.7	14.7	91.2	19.9	84.8
DCP	(%)	1.8	10.5	1.8	7.4	2.9	16.2	2.5	11.4
TDN	(%)	8.1	50.2	10.2	48.0	10.9	60.0	12.1	48.1

第3表 レンゲ作付面積に見られる上位10県の変遷(農林省統計による)。

順位	新興期		全盛期		沈滞期		再興期		衰退期	
	大正13年(1924年)		昭和8年(1933年)		昭和21年(1946年)		昭和30年(1955年)		昭和53年(1978年)	
	県名	作付面積	県名	作付面積	県名	作付面積	県名	作付面積	県名	作付面積
		ha		ha		ha		ha		ha
1	富山	47,564	富山	49,868	富山	29,195	富山	45,238	鹿児島	3,440
2	栃木	17,620	栃木	17,342	長野	11,629	長野	15,188	宮崎	1,820
3	宮崎	17,414	長野	16,954	滋賀	11,028	鹿児島	13,615	大分	935
4	長野	14,725	滋賀	15,773	鹿児島	10,862	石川	11,687	熊本	605
5	高知	13,992	鹿児島	14,956	栃木	10,773	高知	11,628	岡山	598
6	石川	13,224	高知	14,053	石川	10,538	滋賀	11,446	愛媛	572
7	滋賀	12,815	宮崎	13,597	岐阜	6,341	宮崎	11,131	兵庫	423
8	鹿児島	9,850	石川	12,837	高知	5,961	栃木	10,864	長崎	419
9	福岡	8,479	福岡	12,111	宮崎	5,613	岐阜	8,835	高知	303
10	三重	8,132	新潟	10,645	新潟	5,379	鳥取	7,937	徳島	280

媛、高知、徳島の四国3県が上位10県に入っている。このように、現在レンゲ栽培は、早期栽培の普及率が比較的低く、しかも春先のレンゲの生育が比較的に早い温暖な地域に多くみられる。早期栽培の普及とレンゲの衰退との間には密接な関係がある。

4) 水田利用再編対策に伴う蜜源レンゲの栽培

1978年、米の第2次生産調整により、レンゲが蜜源作物として指定され、養蜂家と稲作農家との契約のもとに蜜源専用レンゲの栽培が始まった。

レンゲは緑肥用、飼料用、採種用あるいは自生を問わず、蜜源として広く利用されてきたが、蜜源専用レンゲとして栽培されることはなかった。養蜂の盛んな地域では、「取る養蜂」から「育てる養蜂」をめざして、蜜源レンゲの増殖につとめたが、レンゲを栽培するのは稲作農家であり、蜜源として利用するのは養蜂家である関係から、期待されたほど蜜

源レンゲの栽培面積の増加はみられず、約3,000 haにとどまった。

なお、レンゲは種子が結実すると、自然に落下しその種子は秋に発芽し翌春開花するので、播種しなくてもレンゲが育つ。養蜂家が蜜源として利用するレンゲ田の面積は現在(1986年)約2万haである。

5) 水田農業確立対策による地力増進作物及び景観形成作物としてのレンゲ栽培

近年、水稻栽培は、稚苗の機械移植栽培及び追肥重点の施肥管理が主流となり、堆肥や稲藁の施用による有機物からの無期化成分は、制御しにくい要素としてむしろ敬遠される傾向さえあった。ところが耕土の浅耕化や気象変化への対応力の低下などが問題視されるようになり、その対策として水田への有機物の施用が増えてきた^{24,25)}。従来、わが国の水田

の地力維持方法は、圃場系外からの有機物の持ち込みが中心であった。ところが、1987年より、水田農業確立対策事業に伴い、新たに地力増進作物が転作物の一般作物の部に加えられた。地力増進作物としては、レンゲ以外に大豆などの青刈り作物やマメ科牧草などが対象になるが、レンゲは、かつてわが国の緑肥作物総作付け面積の約60%を占め³⁸⁾、また、わが国の風土特に水田の裏作に極めてよく適応していることから、地力増進作物としてのレンゲ栽培が増加しつつある。正確な作付面積については不明であるが、レンゲ種子の輸入量からみて、栽培面積が増加していることは間違いない。

水田農業確立対策事業が実施される以前の1986年頃までは、毎年約120tのレンゲ種子が中国から輸入されていたが、1987年には約190t、1988年には約320tのレンゲ種子が輸入されている。したがって、地力増進作物が認められてからこの2年間にレンゲ種子の輸入量は約2.7倍に増加している。1989年の作付面積は、前年より1,800ha増加し、17,500haである。さらに、水田農業確立対策事業の後期スタートの1990年からは、新たに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たので、レンゲ作付面積は増加しつつある。

II. レンゲの肥効と地力増進効果

1. 緑肥レンゲの肥効

レンゲの水稲に対する緑肥としての効果や利用方法等についての研究は、1960年以前に多く見られるが^{1,6,14,15,17-21,28,29,31-37)}、最近の研究^{10,40-44)}は少ない。

緑肥レンゲの窒素含有率はレンゲの生育段階や植物体の部位によって異なるが、鋤き込み適期の開花期のレンゲ茎葉の窒素含有率は、乾物当たり約

3~4%と高く^{12,29)}(第4表)、炭素率は約10と低いので²⁹⁾(第5表)、土壤中での分解は堆肥に比べてはるかに早い。水田及び畑地のいずれにおいても、夏季には1~2週間で相当量が分解し、窒素成分はアンモニア態に変化し、畑地ではこれが次第に硝酸態に変化する¹⁷⁾(第6表)。したがって、緑肥レンゲの窒素は肥効が高く、硫酸などの化学肥料に匹敵する速効性を示す。また、乾物当たり0.3~0.4%のリン酸と1.5~2.0%の加里を含んでいるので、優れた緑肥である。

10a当たり2,000kgの生草を鋤き込めば10a当たりの窒素量は6~10kgとなり、3,000kgのレンゲ生草は9~15kgの窒素に相当する。また、同時期のレンゲの乾物率は10~15%であるので、2,000kgの生草施用は200~300kgの乾物施用に、3,000kgの生草施用は300~450kgの乾物施用に相当する。

2. 根粒菌による空中窒素の固定

レンゲは根粒菌と緊密な共生関係を作り上げることによって、光エネルギーを利用して空中窒素をアンモニアへ変換する農業上大きな意義を持つシステムを形成している。レンゲはその根に共生する根粒菌の働きにより、空気中の窒素を固定利用するので

第4表 レンゲの無機成分含有率(乾物当たり%) (富山農試²⁹⁾。

成分(%)	刈り取り時期(月/日)						
	4/11	4/18	4/25	5/2	5/9	5/16	5/23
全N	4.60	4.80	4.28	3.73	3.45	3.20	2.63
水溶性N	0.21	0.24	0.20	0.18	—	0.15	0.15
P	0.43	0.42	0.34	0.36	0.33	0.32	0.30
K	1.88	1.88	1.44	1.44	1.38	1.50	1.50
S	0.57	0.35	0.28	0.28	0.42	0.35	0.39

第5表 レンゲの体構成成分含有率(乾物当たり%)及び炭素率(富山農試²⁹⁾。

成分(%)	刈り取り月日(月/日)						
	4/11	4/18	4/25	5/2	5/9	5/16	5/23
粗蛋白質	28.70	30.00	26.80	23.30	21.60	20.60	16.40
還元糖	4.05	2.11	8.40	6.94	9.50	4.86	6.29
非還元糖	3.45	2.16	3.02	2.02	5.90	1.87	2.24
全糖	7.50	4.27	11.42	8.99	15.40	6.73	8.53
澱粉	5.65	8.07	5.59	7.88	7.09	12.25	12.72
可溶性炭水化物	13.15	12.34	17.01	16.87	22.49	18.98	21.25
粗繊維	8.23	10.65	9.60	13.10	12.61	20.12	20.12
全炭素	41.00	43.00	40.50	39.80	40.20	41.80	40.40
炭素率(C/N%)	8.90	8.95	9.45	10.67	11.63	13.05	15.35

第6表 畑地及び水田における緑肥レンゲの窒素生成量 (大杉・伊勢¹⁷⁾).

状態別	成分	経過日数					
		7	14	21	28	35	42
畑地	アンモニア	10.88	2.21	1.74	1.20	1.07	0.73
	硝酸	0.43	3.91	7.22	18.96	18.99	11.78
	計	11.31	6.12	8.96	20.16	20.06	12.51
	分解割合	20.16	9.02	13.86	36.90	37.14	22.28
水田	アンモニア	9.20	14.96	17.12	18.40	15.40	12.30
	硝酸	痕跡	〃	〃	〃	〃	〃
	計	9.20	14.96	17.12	18.40	15.40	12.30
	分解割合	13.52	26.32	31.04	34.00	27.60	23.56

窒素肥料を多く施用する必要がなく、肥料の節約になる。レンゲの鋤き込みは水稻の基肥を代替できることが確かめられている^{43,44)}。

レンゲ植物体1個体によって固定される窒素量は1.26 mg/日であり、レンゲの旺盛な生育期間中に固定される窒素量は栽植密度を考慮して約4 kg/10 aと推定されており、この値は水稻作に使用される窒素量の約40%に相当する²³⁾。Fan C.S.⁴¹⁾はレンゲによる窒素固定量は年間10 kg/10 a以上であり、植物体に含まれる総窒素量の70~75%は根粒菌の共生により作られるとしている。

レンゲの根粒菌とその窒素固定に関しては最近の研究が多く^{2,3,6,9,13)}、次のような点が明らかにされている。

レンゲの生長力は特定の根粒菌との共生関係によって大きく改善されるので、新しい土地でレンゲ栽培を成功させるには、効率の良い根粒菌の接種が大切である。レンゲの根粒菌は、形態的には早く生育するタイプに属し、単極鞭毛を持っている。この菌の蛋白質成分の電気泳動による分析結果は、他の早く生育するものと異なったスペクトルを示すので、レンゲの根粒菌は *Rhizobium astragali* と命名された。根粒菌の共生効率は種類によって異なるので、新しいレンゲ栽培地では効率の良い系統を接種することがレンゲの生育を良くするために必要である。効率のよい根粒菌の接種は、レンゲが栽培されている土地においても有効である。それは、土の中に生きている根粒菌は従属栄養生長を続けている間に退化するために効率が良くないか、あるいは効果がないからである。

レンゲの根粒は倒卵形または棍棒型で、先端に分裂組織があり、長円形に生育するかあるいは手のひら状に分岐している。中央のバクテリアを含む組織は大きな柔細胞からなっており、保護組織として

3~5層の小さな細胞によって取り囲まれている。バクテリアを含む組織の細胞中には桿状のバクテリアが棍棒状のバクテロイドの中に発達しており、窒素固定酵素ニトロゲナーゼが合成される。

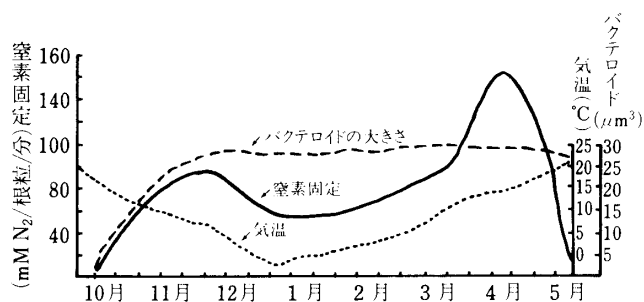
最初の根粒はレンゲの第1葉期の主根に見られ、3日目に窒素固定活力が見られる。この活力は根粒の発達につれて次第に増加する。わずかに2~3個の根粒が根についたレンゲのまだ小さい時期には、窒素固定力はそれほど高くないが、レンゲの初期生育に必要な窒素を固定する点で重要である。レンゲの生育速度は固定された窒素の量に比例するので、早期の根粒着生及び早期の窒素固定はレンゲの生長を促進する。

レンゲ根粒の窒素固定力の季節的变化は、第5図に示したように、開花初期にピークのある馬の鞍形の曲線を示す。レンゲが全生育期間に固定する窒素量の70%以上は栄養生長期から開花期に固定される。光合成速度が高いと、エネルギー源としての光合成産物の供給量が多いので、根粒の窒素固定力も高まる。

バクテロイド中のニトロゲナーゼは過剰な酵素の供給によって抑制されるが、バクテロイドは窒素固定に有効なエネルギーを供給し、酸化的リン酸化反応において、ATPを生産するための呼吸に対していくらかの酸素を必要とする。

ヘモグロビンはバクテリアを含んだ細胞中で合成され、バクテロイドに対する酸素供給を仲介する。細胞中のヘモグロビンの濃度が高ければ、バクテロイドへの酸素供給量が多く、根粒の窒素固定力が高いので、レグヘモグロビンによる根粒の赤色の程度は、根粒の窒素固定活性を示す良い指標となる。

レンゲの葉から根及び根粒に転流する光合成産物はショ糖である。根粒中のバクテロイドはインペルターゼやアミラーゼを含んでいないので、根粒中の



第5図 レンゲ根粒の窒素固定活性の季節的变化 (Fan C. S, 未発表).

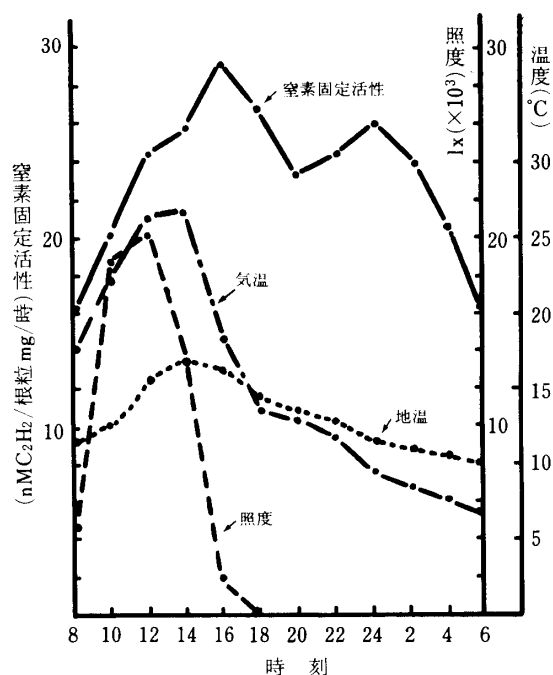
ショ糖及び貯蔵澱粉は、バクテロイドに対して有効なエネルギー源として供給される前に、根粒中でヘキソースまたはさらに代謝の進んだピルビン酸やジカルボン酸に加水分解される必要がある。

根粒の窒素固定能力は、光合成産物の供給の差によって、日中に増加し、夜間は低下する。根粒中の貯蔵炭水化物は、暗黒下で加水分解され、有効なエネルギー源としてバクテロイドに供給される。そのため、根粒中での窒素固定は夜間にも進行する。根粒の窒素固定力の日変化には、第6図に示したような2つのピークが見られる¹³⁾。高いピークは午後で、最高の光合成速度のあらわれた2時間後にみられ、低いピークは、根粒の暗代謝に有効な炭水化物が十分供給される真夜中に見られる。

窒素固定産物はバクテロイドによって、アンモニウムの形で根粒細胞中に分泌され、それは直ちに最初の間産物グルタミンを経て、有機窒素化合物に同化される。バクテロイドからのアンモニウムの移動には、窒素固定力の継続が必要である。根粒が形成されたマメ科作物に窒素肥料を施すと、根粒の形成及び窒素固定力は抑制されるが、開花期以後の根粒が老化した時における少量の窒素の供給は、莢の発育を促進すると同様に葉の生長を長びかせるのに役立つ。

Sasakawa²³⁾はレンゲの窒素固定活性(アセチレン還元活性)は、湛水状態から通常の状態にもどすと、速やかに回復することを明らかにした。また、アセチレン還元活性は酸素分圧の減少につれて低下し、窒素ガス中では全く認められなかったことから、湛水による活性の低下は主として酸素欠乏によって引き起こされるとしている。温度とアセチレン還元活性との関係については、20~30°Cの範囲では活性に変化はない²³⁾。

レンゲに着生する根粒には有効根粒と無効根粒があり、無効根粒菌によって形成された根粒は根粒の



第6図 レンゲ根粒の窒素固定活性の日変化 (Lau W. et al.¹³⁾).

発達が未熟で、窒素固定を行っていない。根粒特異的蛋白質はレンゲと根粒菌の共生によって発現するが、無効根粒ではその発現が抑制されている⁹⁾。

3. 緑肥レンゲの施用量及び施用方法

水稻に対する緑肥レンゲの施用量は土性や気候などによって異なるが、温暖地では10a当たり約2,000 kg、寒地で約1,500 kgである¹²⁾。

鋤き込み法としては、刈り倒した後灌水して鋤き込む水鋤き法と乾田状態のまま鋤き込む空鋤き法があるが、水稻の生育上は後の方が安全である。刈り取ったレンゲを湛水条件下で鋤き込むか、あるいは、鋤き込み後直ちに湛水した場合には、レンゲは速やかに発酵して、2~10日で揮発性の有機酸が著しく生成し、土壤は強い還元状態となる^{5,29)}。

有機酸の発生量は炭水化物の多いレンゲを鋤き込んだ時に多く、また、高温下よりも低温下において有機酸の生成量が多い²⁹⁾。10~18°Cの低温下においても有機酸は速やかに生成し、また、長期間にわたって高い濃度で残存する。そのため、水稻の活着は不良となり、養水分の吸収阻害を引き起こして初期生育は著しく抑制される。窒素の無機化も遅延する傾向が認められる。これに反して、レンゲを鋤き込んでから5日以上畑地状態に放置し、その後湛水すると易分解性の炭水化物は速やかに好氣的に分解されるので、湛水後においても発酵は殆どおこることなく有機酸の生成は著しく減少する⁵⁾。しかし、

第7表 レンゲ鋤き込みの深さ及び施用量と玄米収量との関係 (富山県農試²⁹⁾).

鋤き込みの深さ	レンゲ施用量 (生草 kg/10 a)	玄米収量
12.1 cm	1875	100*
	2625	99.1
	3750	96.4
18.2 cm	1875	101.3
	2625	100.8
	3750	98.7

*玄米収量 407.4 kg/10 a, 1925~1928年の4年平均。

鋤き込み後乾田状態に長く放置すると、窒素の損失が多くなるので、1週間以内に灌水の方が良い。レンゲ鋤き込み後5日間畑状態に放置後灌水した場合の窒素の損失は約10%である²⁹⁾。

鋤き込み後の灌水適期は施用量、土壌条件及び気温等によって異なるが、鋤き込み量が多い場合や温度が低い場合は灌水時期を遅くしても良い。

鋤き込みの深さについては、有害作用の防止及び肥効の点からみて、浅耕鋤き込みより深耕鋤き込みの方がやや優れている²⁹⁾ (第7表)。また、生草鋤き込みと乾草鋤き込みには殆ど優劣はないが、施用量が多い場合や還元を起こし易い土壌では乾草の方が効果は高い。石灰の施用は有害作用の軽減に効果があり (第8表)、その作用としては土壌細菌の繁殖を促してレンゲの分解とそれに伴うアンモニア態窒素の生成を促進し、湛水土壌の置換酸度を減少する²⁶⁾。さらに、有害な有機酸や有害な土壌膠質物の凝固沈殿を促進し、土壌の透水性を増大し、水稻の根の発育に良い影響を与えることなどがあげられる¹⁶⁾。これに対して、石灰の併用はかえって有機酸の生成を多くすると報告もある。また、間断灌漑や早期中干しを行って土壌中へ空気の導入をはかることも有害作用の軽減に役立つ。施用量が多いと窒素過多による過繁茂や倒伏及びイモチ病の発生を引き起こすことがある。しかも、分解が急激に進むので、土壌の酸化還元電位が低下し、さらに分解時には酢酸、酪酸、乳酸、シュウ酸などの有機酸³¹⁾やメタンガス、炭酸ガス、窒素ガス、水素ガス¹⁹⁾ (第9表)、及び膠状物質¹⁸⁾が生成され水稻の生育に有害作用を及ぼすことがあるので、少なくとも田植の7~14日前に鋤き込むのが安全である。

レンゲ鋤き込み当日に湛水した場合は土壌 Eh は著しく低下し、Fe⁺²、有機酸の生成量は極めて多い。浸透水中の Ca, Mg, K, Si, P 特に、Fe, Mn

第8表 水稻の収量に及ぼす緑肥レンゲの石灰併用試験 (末次²⁶⁾).

レンゲ施用量 (kg/10 a)	石灰施用量 (kg/10 a)	玄米収量 (kg/10 a)	備考
1125	37.5	446.7	新潟農試 (3カ年平均)
	75.0	470.4	
	112.5	454.8	
1500	37.5	421.1	
	75.0	426.8	
	112.5	449.9	
1875	37.5	456.0	
	75.0	461.6	
	112.5	479.6	
1875	0	346.7	愛媛県農試 (10カ年平均)
	112.5	383.0	
	225.0	385.7	
	337.5	391.1	
3750	0	383.3	滋賀県農試 (2カ年平均)
	150.0	412.4	
	225.0	395.4	
	300.0	416.1	
	375.0	414.5	

が著しく多く、Fe⁺²、Mn の溶脱は有機酸の溶脱と比例し、硫酸施用の場合に比して Fe の溶脱は10倍以上、Mn の溶脱は約4倍である。これに対して、レンゲ鋤き込み後7日目に湛水し、その間好氣的分解を行わせた場合は、土壌の還元化が遅く、有機酸の生成量は極めて少なくなり、Fe、Mn の溶脱も著しく減少し、その他の成分の溶脱は硫酸施用の場合より少ない²⁹⁾。

施用量が多いほど有害物質の発生が多く、しかも気温が低いと有害物質の発生量が多く、水稻への有害作用も大きいので、施用量を控えめにし、不足分は化学肥料の追肥で補うのが安全である。レンゲの鋤き込み量が適当であり、鋤き込み、代かき及び水稻の移植を適期に行った場合には、通常基肥を省き、穂肥及び実肥の追肥のみで十分である⁴³⁾。

分解時に生成する有害物質の量や水稻に及ぼす影響は、施用量のほかに鋤き込み時期や方法、土壌の種類、透水性、水管理及び気温などによって影響されるので、緑肥レンゲの利用には高度な技術と周到な注意が必要であるが、上手に使えば化学肥料に劣らぬ肥効が得られる。

4. レンゲの地力増進効果

レンゲの効果は窒素、燐酸及び加里その他の肥料要素としての効果の他に土壌中の腐植の給源として土壌の物理性を改善し、地力を維持増進する効果が

第9表 気温並びに施用量とガスの発生 (小野寺¹⁹⁾。

ガスの組成	気温 (°C)			レンゲ施用量 (kg/10 a)		
	17	27	37	3700	2625	1500
	%	%	%	%	%	%
炭酸ガス	18.80	39.15	40.31	35.71	33.12	22.64
酸素	0.55	0.47	—	0.04	0.08	—
メタン	62.65	45.28	43.41	41.08	35.31	19.36
水素	14.14	10.52	7.21	11.04	17.07	11.69
窒素	3.77	4.58	9.07	12.13	14.42	46.31
計	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00

期待される。

腐植の生成量は炭素率が高く、しかもリグニン含有率の高いものほど多いので、稲わらや堆肥に比べれば緑肥レンゲの腐植生成量は低い。堆肥 100 kg の腐植生成量 10.8 kg に対して、レンゲは 6.4 kg と低いが大ダイズ粕の 3.2 kg に比べて 2 倍である¹²⁾。しかし、開花期頃のレンゲのように炭素率の低い、易分解性の新鮮な有機物を鋤き込むことによって、土壤微生物の活性が増大し、土壤有機物の分解が促進されることがある。このような起爆効果 (Priming effect) のため、緑肥レンゲの施用は土壤中の腐植を増加しないので、地力増進にあまり役に立たないとの説がある^{5,37)}。しかし、レンゲは成熟するにつれて、蛋白質含量が低下し、粗繊維やリグニン含量が増加するので^{29,40)}、土壤有機物特に腐植の生成量が増加すると考えられる。また炭素率が高まって分解しにくくなるので、起爆効果もなく、肥効が持続し、地力効果も高いと考えられる。

種子が結実し、莖葉が枯死した頃の鋤き込みは緑肥としての肥料的効果は低下するが、堆肥に代わる有機物の給源として役立つ。この場合、第10表に示したように、レンゲ(蜜源植物または地力増進作物)や麦類及び大豆などを組み入れた水田輪作を行うことがわが国の水田農業確立の見地からも望ましいことである。

レンゲの根は水稻などのイネ科作物や一般の畑作物に比べて深根性であるので、土層の深いところから養分を吸収し、作土の養分を多くする効果がある。特に下層に流亡しやすい石灰や苦土を作土に返す働きがある⁴⁾。今日の稲作では一般に深耕が行われないが、レンゲ栽培によって深い所へ伸長した根の分解により、肥料成分や有機物が土中に残るので、深層部の土壤に変化を与え、底土を改良し、作土の深さを増す効果がある。

第10表 レンゲを導入した水田輪作 (安江³⁹⁾。

	第1年目		第2年目		備考
	夏作	冬作	夏作	冬作	
1	水稻	休耕	水稻	休耕	水稻単作
2	水稻	レンゲ	水稻	レンゲ	水稻とレンゲの二毛作
3	水稻	レンゲ	休耕	ムギ類	水稻、レンゲ、ムギの2年3作
4	水稻	レンゲ	ダイズ	休耕	水稻、レンゲ、ダイズの2年3作
5	水稻	レンゲ	ダイズ	ムギ類	水稻、レンゲ、ダイズ、ムギの2年4作

注：ダイズ及びムギ類のかわりに野菜類や飼料作物を組み入れてもよい。

おわりに

以上のように、レンゲには二つの利用方法が考えられる。その一つは、従来から利用されてきたように、主として窒素その他の肥料成分の速効的肥効を目的とした緑肥としての利用であり、他方は、堆肥に代わる土壤有機物及び腐植の給源として、地力の維持増進に対する効果を目的とする場合である。

前者を目的とする場合は、窒素含有率の高い開花期が鋤き込み適期である。若いレンゲは窒素含有率が高いので、施用量が多過ぎると窒素過多になり、過繁茂や倒伏を引き起こし、必ずしも増収に結び付かないことが多い。また、若いレンゲは急激な分解による土壤の還元化や分解に伴って種々の有機酸や有害ガスが発生し、水稻の活着不良や根腐れなど生育障害を起こす危険性があるので、乾田状態で分解させてから湛水することが必要である。ただし、乾田状態の期間が長すぎるとレンゲの分解により生成されたアンモニア態の窒素が硝酸態の窒素に変化し、湛水後の脱窒作用による窒素の損失が大きいので注意が必要である。

鋤き込み後、湛水迄の期間はレンゲの生育段階や鋤き込み量及び気温や土壤水分などによって異なる

が、7~14日が適当である。鋤き込み量は3,000 kg/10 a がほぼ限度であり、この場合は基肥特に化学肥料の窒素は施さない方が安全である。もし、不足するようであれば分けつ肥を施す。穂肥及び実肥を施せば増収に結びつく。

地力の維持増進を目的とする場合は、若いレンゲよりもリグニンや粗繊維含有率の高い老熟したレンゲの方が効果が高い。種子が結実し、地上部が枯死したレンゲは肥料的効果は低いが、炭素率が高く、分解が遅いので、急激な分解に伴う害作用も無く、腐植の生成量が多いので、土壤の物理性の改善や、地力の維持増進効果は高いと考えられる。このようなレンゲを鋤き込んだ場合には基肥または分けつ肥を施せば増収が期待される。

早期栽培が行われる所では、この時期のレンゲの鋤き込みは困難であるが、休耕田を活用して水稻の代わりに大豆や麦類を組み入れた水田輪作（第10表）を行えば可能である。

レンゲは良質の蜂蜜を生産する極めて貴重な蜜源植物であるので、資源の有効利用の観点からみて、蜜源及び地力増進作物として両立するような利用の仕方が望ましい。

さらに、紅紫色の絨毯を敷きつめたように咲くレンゲ田は田園の景観上、特に開発が進み都市化が進行しつつある混住地域における景観上の意義は大きいと考えられる。

引用文献

1. 荒木正美 1939. 富山時報 4: 8-9.
2. Chan C.L. et al. 1988. Plant and Soil 109: 85-91.
3. Fan C.S. and W. Lou 1984. J. Nanjing Agr. Coll. 3: 58-68.
4. 橋元秀教・松崎敏英 1976. 土づくり講座 V. 有機物の利用. 農文協, 東京, 116-119.
5. ———— 1977. 有機物施用の理論と応用 農文協, 東京, 146-155.
6. 橋田英児ら 1990. 農化誌 64(3): 610.
7. 長谷川精作 1939. 土肥誌 13: 314-315.
8. 伊平亮太郎 1959. 畜産の研究 13: 1488.
9. Jia X. et al. 1983. J. Nanjing Agr. Coll. 3: 53-61.
10. 可児晶子 1989. 現代農業 11: 214-217.
11. 木村次郎 1931. 土肥誌 6: 224-225.
12. 松木五楼 1950. 作物の肥培. 明文堂, 東京, 240-247.
13. LAU W. and Fan S.C. 1985. J. Nanjing Agr. Univ. 1: 40-46.
14. 三須英雄 1930. 土肥誌 4: 57-64.
15. ———— 1931. 土肥誌 5: 1-36.
16. 農林省振興局研究部 1969. 新選土壤肥料全編. 養賢堂, 東京, 472-481.
17. 大杉 繁・伊勢六郎 1934. 農及園 9: 23-33.
18. 小野寺伊勢之助 1920. 農学研究 2: 80-112.
19. ———— 1925. 大日本農会報 540: 26-31.
20. ———— 1929. 土肥誌 3: 1-15.
21. ———— 1929. 土肥誌 3: 49-64.
22. ———— 1958. 肥料学綱要. 養賢堂, 東京, 189-195.
23. Sasakawa, H. 1987. Jpn. J. Crop Sci. 56: 577-581.
24. 塩谷哲夫 1991. 農及園 66 (3): 347-353.
25. ———— 1991. 農及園 66 (4): 467-471.
26. 末次 勲・岩切 嶺 1950. 紫雲英の研究. 養賢堂, 東京, 65-77.
27. ———— 1955. 日本農業発達史. 中央公論社, 東京, 7: 455-571.
28. 高木富衛 1930. 富山農試時報 117: 7-9.
29. 富山県農業試験場 1963. 富山農試報告 特 5: 1-140.
30. 上沢正志 1991. 季刊肥料 58: 24-34.
31. 和田武揚・飯田忠夫 1933. 土肥誌 7: 1-8.
32. 山本義彦 1934. 文化農報 155: 17-22.
33. ———— 1935. 農及園 10: 1959-1962, 2189-2195, 2303-2314.
34. ———— 1936. 農及園 11: 2393-2400.
35. ———— 1937. 農及園 12: 1339-1346.
36. ———— 1938. 農及園 13: 2006-2010.
37. 山崎 傳 1952. 農及園 27: 1129-1132.
38. 安江多輔・土屋卯平 1982. 岐阜縣の花レンゲとその栽培史. 教育出版文化協会. 岐阜, 52-107.
39. ———— 1984. 農業リサイクル 19: 18-27.
40. ————・笹野晶子 1986. 日作紀 55 (別1): 78-79.
41. ———— 1987. ミツバチ科学 8: 119-123.
42. ————・松尾尚典 1987. 日作紀 56 (別2): 77-78.
43. ————・岩瀬明彦 1989. 日作紀 58 (別2): 33-34.
44. ————・比良佳久 1990. 日作紀 59 (別2): 33-34.