

土の力を最大限活かす！ 「水田土づくりマニュアル」 ～CO₂ネットゼロに向けて～



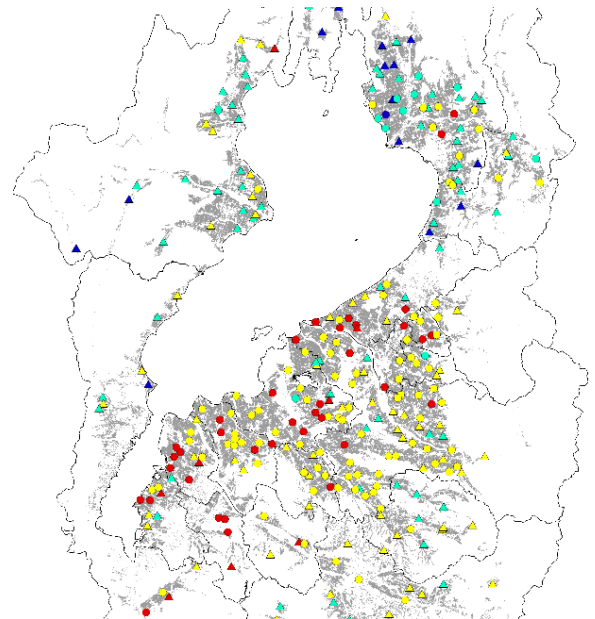
緑肥（ヘアリーベッチ）の活用



牛ふんペレット堆肥の活用



地力の簡易な測定法



水田地力のみえる化

滋 賀 県

はじめに

滋賀県では令和3年4月1日に「持続的で生産性の高い滋賀の農業推進条例」(愛称「しがの農業みらい条例」)を施行しました。条例の中で、環境と一層の調和に努め、持続的で生産性の高い農業を推進することとしています。

その一方で、温暖化等の気候変動やムギ・ダイズ等を組み入れた田畑輪換の導入に伴い、水田の地力(土の生産力)は低下傾向にあります。このため、水稻では収量が不安定であることや品質および食味の低下、ムギ・ダイズでは収量低下等の課題があり、その対策として水田の地力向上を図る土づくりが重要視されています。

今回、水田の地力を簡単に迅速に測定できる方法や地力向上対策についてとりまとめました。また、地力向上を図ることが可能で、さらに肥料費コスト低減を図ることができる緑肥作物のヘアーベッチの活用についてとりまとめました。さらに、肥料費や資材費のコスト低減に活用可能な技術として、これまでの成果を基にリン酸施用やアルカリ資材の利用についてもとりまとめました。

また、これら有機物活用やこれまで調査した水稻の長期中干しやムギ・ダイズの緩効性肥料活用等の温室効果ガス排出削減技術をとりまとめ、水田からのCO₂ネットゼロに向けた取組を評価しました。

これらマニュアルを参考にいただき、土の力を最大限に活用した作物生産を実践いただくとともに、CO₂ネットゼロに貢献し、持続的で生産性の高い農業に努めていただくようお願いいたします。

令和4年3月 農政水産部農業経営課

目次

I	はじめに・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	1
II	ヘアリーベッチを活用した水稻みずかがみ栽培・・・・	8
III	水田地力の簡易な測定法と土づくり・・・・・・・・	21
IV	農耕地管理で地球温暖化を緩和する・・・・・・・・	28
	～CO ₂ ネットゼロ実現に向けた取り組み～	
V	肥料コスト低減技術(アルカリ資材、リン酸の施用)・・・	35
参考資料		
	水田地力マップ・・・・・・・・・・・・・・・・	39

はじめに ～有機物を活用した土づくりによる地力向上～

現状と課題

温暖化の進行や田畑輪換栽培により、地力は低下傾向

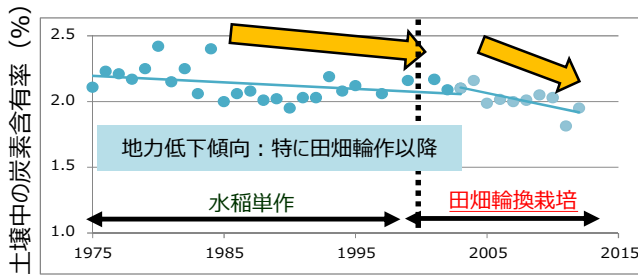


図 土壌中の炭素含有率の推移（滋賀農技セ調査）
注)センター内ほ場の慣行管理の事例

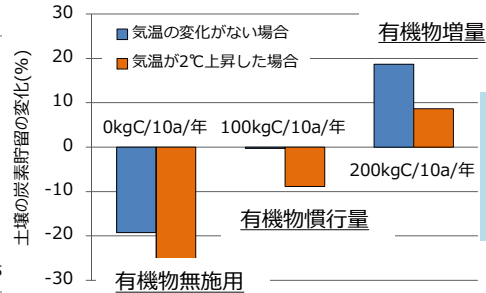


図 有機物施用量の違いや今後の気温上昇を踏まえた土壌炭素量の将来予測（滋賀農技セ 2018）
注)RothCモデル（土壌炭素量の長期的な変化を予測するモデル）による予測結果

土づくりによる対策

地力向上を図るためには、有機物を活用した土づくりが有効

土づくりの効果として、①地力向上、②作物の安定生産や収量・品質向上、③地球温暖化防止(土壌への炭素貯留)、④水質浄化がある。

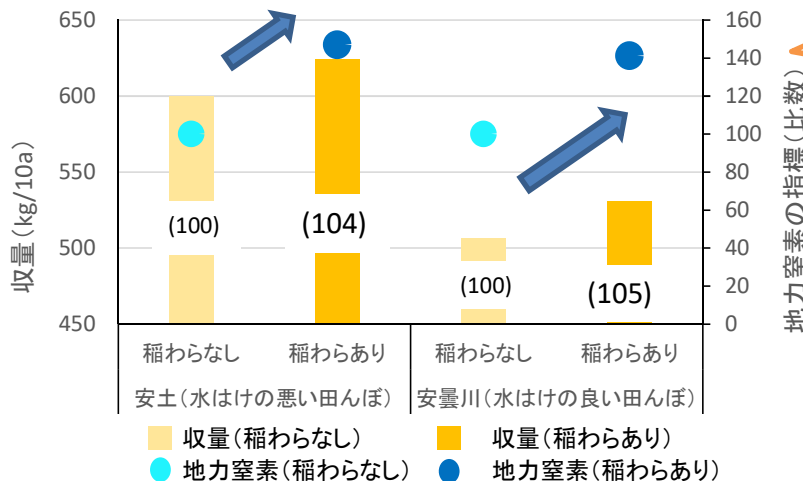


図 稲わら施用による水稲収量および地力向上効果（柴原ら 1999年他）

注) 稲わらの連用開始：安土1975年、安曇川1976年。地力窒素の指標：稲わらなしを100とした比数で、1993～1997年の平均値。水稲品種：「日本晴」、収量は連用11～20年の平均値。施肥窒素量（kgN/10a）：安土9.4、安曇川10.0。

効率的な土づくりの
実践に向けて

実態把握には簡易法
の活用が有効

収穫残さ、堆肥・
緑肥の活用が有効

地力実態を把握する

有機物を活用した地力向上

得られる効果



生産に
良し！



琵琶湖に
良し！



地球に
良し！

I はじめに

1 現状から見た土づくりの必要性

(1) 温暖化の進行

我々人間の活動が活発になるにつれて、大気中に含まれる二酸化炭素 (CO₂)、メタン (CH₄) 等の「温室効果ガス」が大気中に放出され、地球全体の平均気温が上昇している。

滋賀県の年平均気温についても、ここ 100 年で 1.4℃上昇している (図 I-1)。このような中、水稻栽培では白未熟粒の増加による品質低下等の農作物への影響が認められている。農作物への影響を少なくし、作物の生産性や品質を維持向上するためには、作物を生産する能力である地力 (土壌の生産力) を向上する土づくりの実践が重要である。

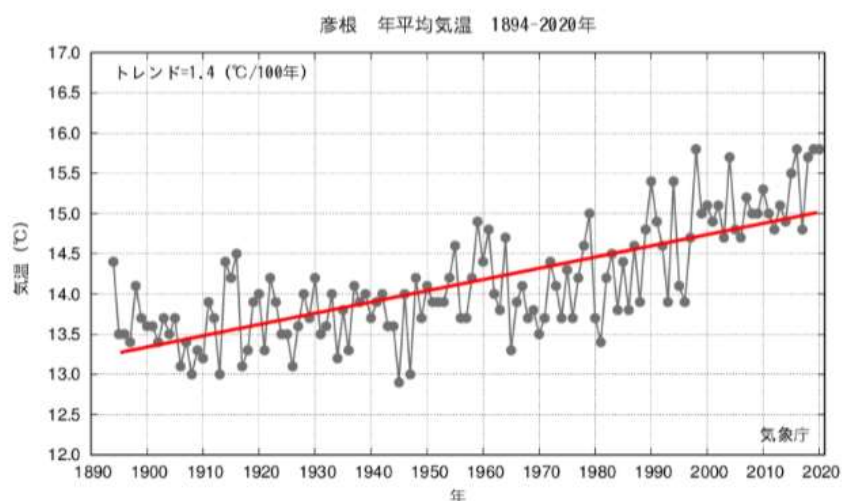


図 I-1 彦根の年平均気温 (1894-2020 年 : 気象庁彦根地方気象台)

注) 棒は各年値、折れ線は 5 年移動平均、直線は長期変化傾向を示す。

(2) 田畑輪換栽培における地力の低下

地力とは「作物を生産する能力」である。

滋賀県では水田に麦類・大豆を組み入れた田畑輪換栽培体系 (水稻・水稻・麦・大豆の 3 年 4 作) が主要な体系となっており、田畑輪換栽培を継続することによって、土壌中の有機物が分解され、地力が低下することが明らかになっている (図 I-2)。

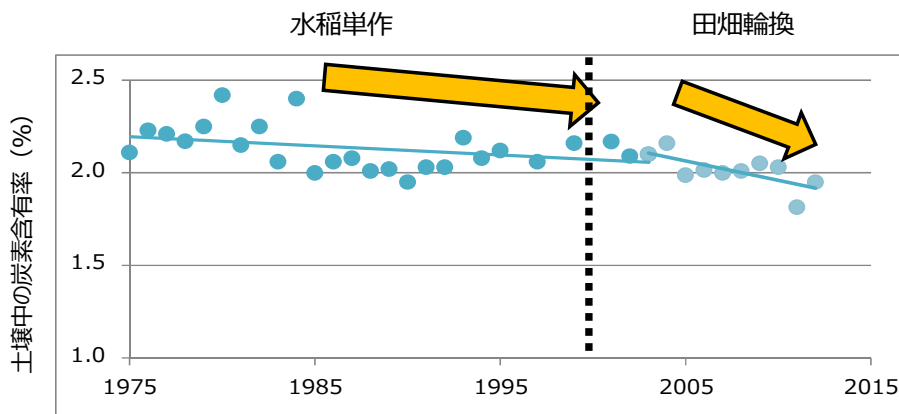


図 I-2 土壌中の炭素含有率の推移（滋賀農技セ調査）

注）農技センター内基準点は場の慣行管理の事例、直線は長期変化傾向を示す。

2 土づくりによる対策

(1) 土づくりの効果

土づくりの目的は、土壌の物理性、化学性および生物性を整え、作物の生産環境を向上させることである。土づくりとして、有機物施用、深耕、土づくり肥料の適正施用等の技術があるが、特に有機物施用は地力を維持・増強し、作物生産を安定化させるために欠くことのできない技術である。

有機物としては、作物残さ（稲わら、麦わら、大豆残さ等）、家畜ふん堆肥、緑肥などがある。

土づくりの効果として、①地力向上、②作物の安定生産や収量・品質向上、③地球温暖化防止（土壌への炭素貯留）、④水質浄化（窒素流出負荷低減効果）等がある。

(2) 作物残さの施用

水稻収穫後に稲わらを施用することで、水稻の収量および地力が向上することが明らかになっている（図 I-3）。

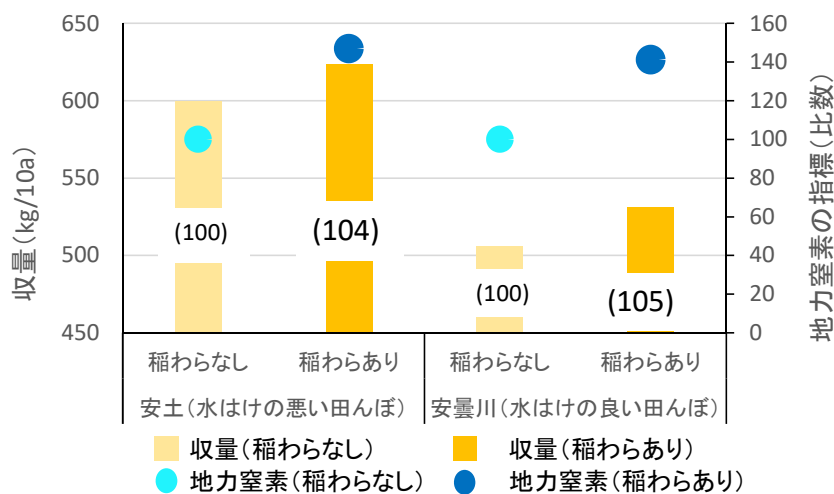


図 I-3 稲わら施用による水稻収量および地力向上効果（柴原ら 1999 年他）

注）稲わらの連用開始：安土 1975 年、安曇川 1976 年。

地力窒素の指標：稲わらなしを 100 とした比数で、1993～1997 年の平均値。

水稻品種：「日本晴」、収量は連用 11～20 年の平均値。施肥窒素量 (kgN/10a)：安土 9.4、安曇川 10.0。

水田土壌の地力を維持向上させる基本技術として、水稻、麦類、大豆の収穫残さは焼却せずに戻すことが重要である（図 I - 5）

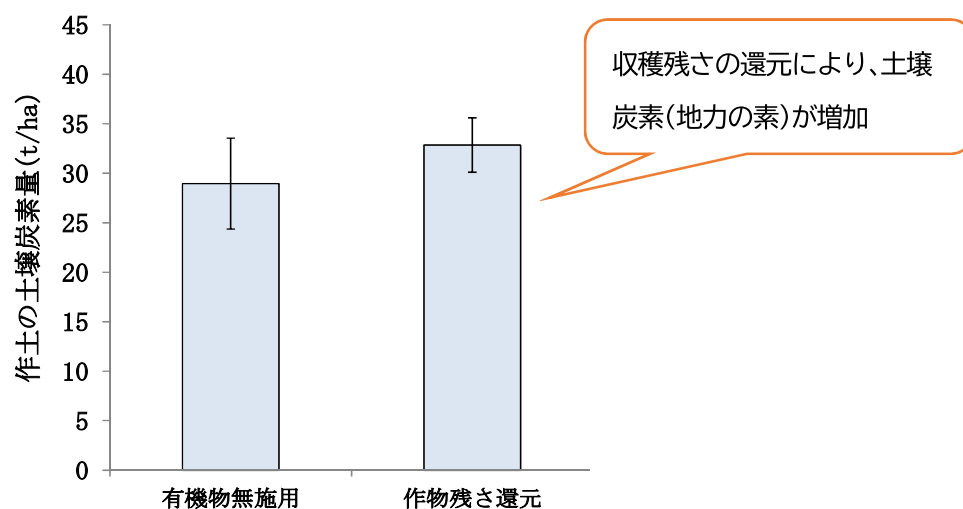


図 I - 4 有機物施用が水田土壌の作土の土壌炭素貯留量に与える影響(5 か年平均)
(滋賀農技セ 2014 年)

注) 作物残さ還元：収穫後の稲わら、麦わら、大豆残さを全量還元。
土壌炭素量(作土) = 全炭素(%) × 土壌水分率 × 仮比重 × 層厚。エラーバーは標準偏差を表す。
作土平均 14 cm。
値は 2008～2012 年の 5 か年平均値。

また、稲わら施用により、分解時に微生物が土壌中の無機態窒素を取り込みため、水稻収穫後から翌水稻作までの期間の窒素流出負荷量（特に硝酸態窒素流出負荷量）が低減することが明らかになっている（図 I - 4）。

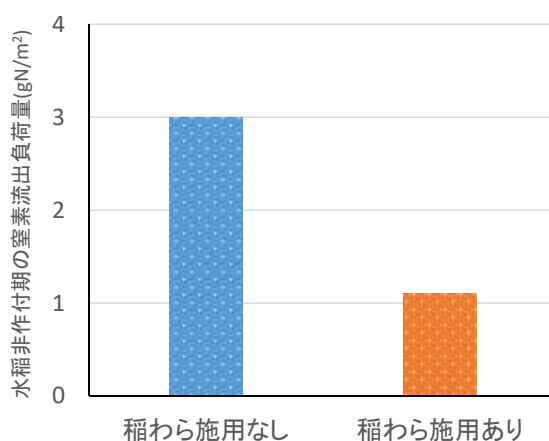


図 I - 5 稲わら施用による水稻非作付期の窒素流出負荷低減効果（柴原ら 1998 年）

注) 滋賀農試 1996～1997 年の試験データを活用。ポット試験で稲わら 1 t / 10a 施用。

(3) 家畜ふん堆肥や緑肥の利用

地力を向上させるには、家畜ふん堆肥の施用や緑肥作物の活用が有効である。施用する有機物を稲わらから牛ふん堆肥に変更することにより、地力がさらに向上することが明らかになっている（図 I-6）。

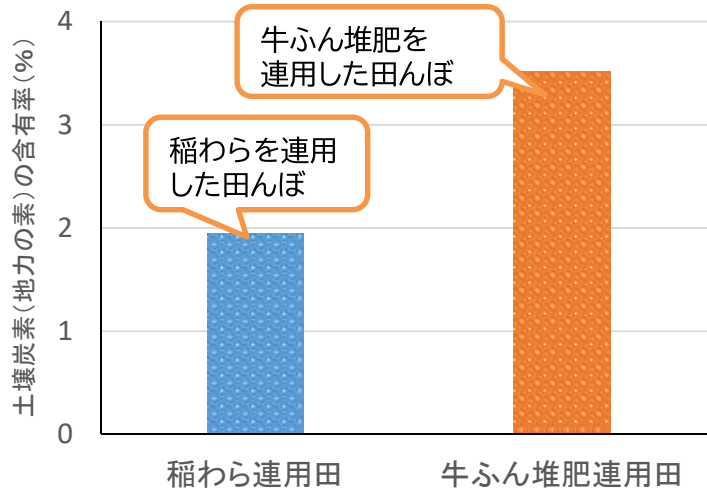


図 I-6 牛ふん堆肥施用による地力向上効果（武久ら 2002 年）

注 1) 隣接ほ場にて 1973 年から連用開始。1998 年測定。
 注 2) 有機物は秋に施用。牛ふん堆肥は 2 t / 10 a 施用。

また、緑肥作物（ヘアリーベッチなど）の活用により、地力が向上することが明らかになっている（図 I-7）。

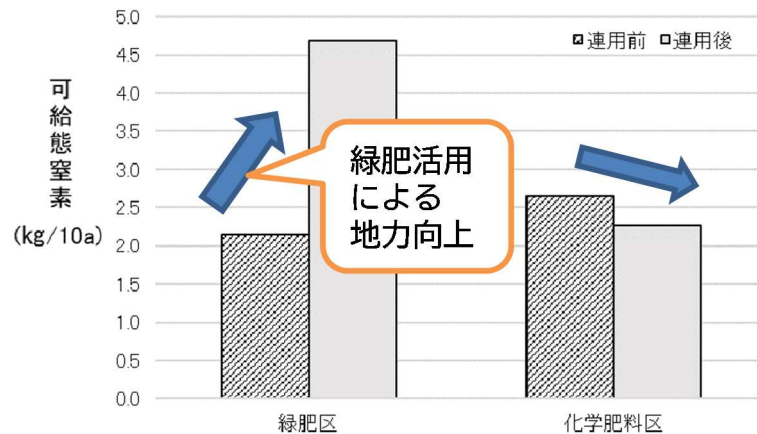


図 I-7 ヘアリーベッチ連用の有無による地力の変化（山梨総農セ 2019）

(4) 効率的な土づくりの実践に向けて

①地力実態を把握する

地力実態を把握することは、地力低下が顕著なほ場を優先するなどして効率的に土づくりを進める上でとても重要である。また、目標水準まで達していないほ場の地力を向上させることにより、作物の生産安定や品質向上を図ることが可能となる。なお、地力向上には時間を要するため、継続した土づくりが大切である。

滋賀県における最新の地力実態（2019～2021 に調査した水田土壌 305 地点）を図 I - 8（7 頁記載）に示す。

また、栽培ほ場単位の地力をより詳細に把握するためには、地力の簡易測定法が有効である。簡易法については、「Ⅲ 水田地力の簡易な測定法と土づくり」（21 頁～）を参考とされたい。

②有機物活用により地力向上を図る

先にも述べた通り、水田の地力を維持するために水稲、麦類、大豆の収穫残さは燃やさずにすき込むことを基本とし、地力ランクが低い場合については、さらに有機物活用を実践する。なお、地力ランクについては、「Ⅲ 水田地力の簡易な測定法と土づくり」（21 頁～）を参考とされたい。

地力向上に向けて、活用する有機物としては、緑肥や家畜ふん堆肥の利用が有効である（図 I - 9）。

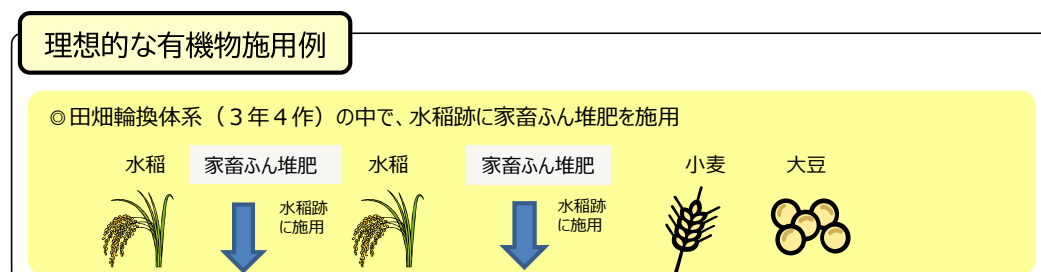


図 I - 9 水田における理想的な有機物施用例

家畜ふん堆肥施用に関しては、散布しやすい形状として堆肥をペレット化することで、散布時の粉じんや匂いも軽減されるブロードキャストを活用することで省力化を図れる（図 I - 10）。



図 I - 10 牛ふん堆肥のペレット化

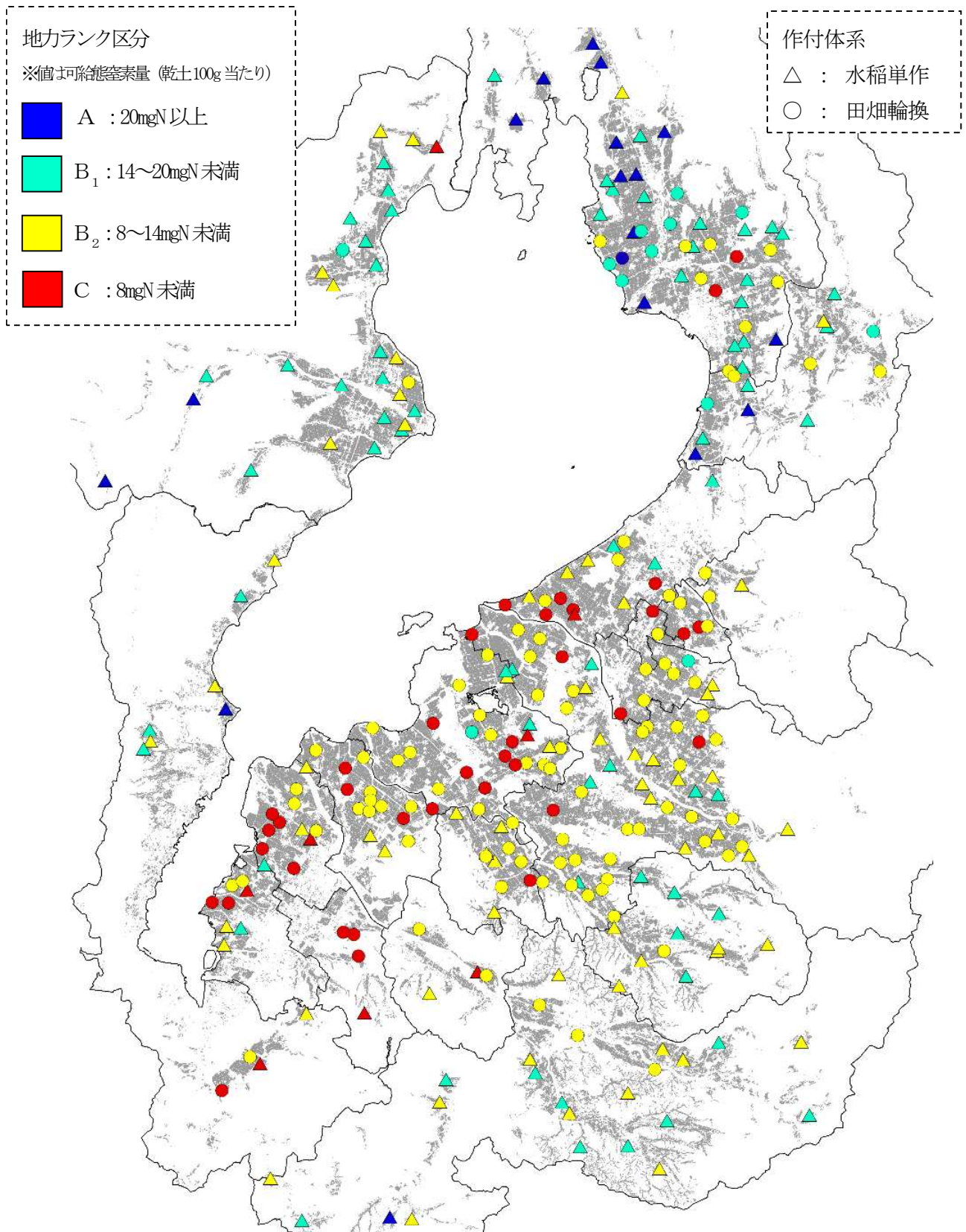


図 I-8 滋賀県における最新の地力実態 (滋賀農技セ 2022)

注) 地図上の灰色で示した領域は農地を示す。いずれの地域も水田 130~140ha に 1 点の割合で調査 (計 305 地点)。

ヘアリーベッチを活用した水稲みずかがみ栽培

4月上旬にヘアリーベッチ(以下、「HV」。生草重2t/10a)をすき込み、5月上旬移植のみずかがみ栽培の基肥として活用する。穂肥は、幼穂形成期の生育に応じて施用する。目標収量は、540kg/10aを想定している。

1.ほ場準備 **湿害の回避が重要！！**

・麦と同様の**排水対策(明渠や暗渠など)を徹底**する。

2.播種 **晩生品種がお薦め！！**

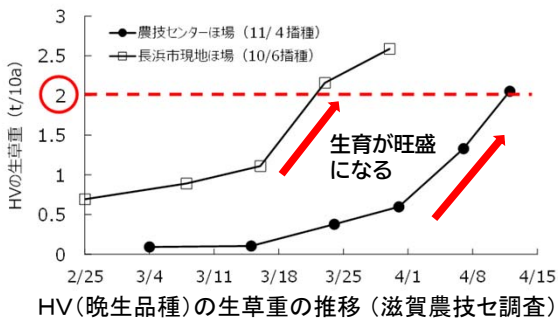
早生品種に比べ、生育が緩慢で、耐寒・耐雪・耐湿が優れているため、4月上旬に安定した生育量を確保できる。

・播種方法は、条播または散播
雑草化防止のため、周辺ほ場へ種子が飛ばないように留意する！！

	推奨品種	播種時期
県北部	晩生品種	10月上旬
県南部		10月中旬～11月上旬

3.HVの生育 **目標生草重は、2t/10a**

生育は春になると旺盛になり、1～2週間で生草重が倍増する。



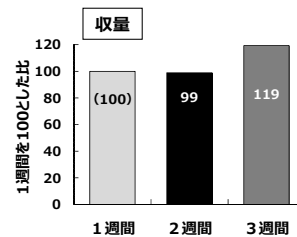
生草重2t/10aの様子



4.HVのすき込み

すき込み～入水までの最適な期間は3週間

3週間あけると、1および2週間に比べ、収量および整粒歩合は高く、玄米蛋白質含有率は低くなる。



HVのすき込みから入水までの期間の違いによるみずかがみの収量 (滋賀農技セ 2022)

5.入水～幼穂形成期までの管理

・入水以降は、通常の水稲管理(還元障害に留意)。
・分けつ過多などにより、紋枯病が発生しやすいため、発病に留意し、適切に防除する。

6.穂肥の施用

穂肥の施用は生育量に応じて！！

幼穂形成期の稲体窒素吸収量が

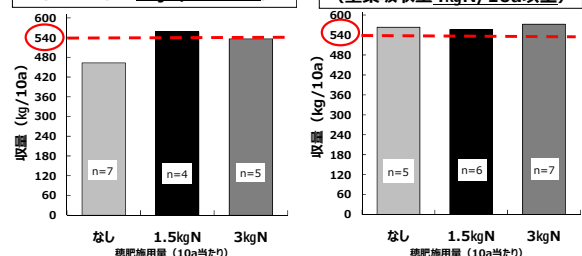
4kgN/10a以上あれば、穂肥は省略する。

4kgN/10a未満は、穂肥を1.5kgN/10a施用する。

(判断目安: 茎数21本/株、葉色 (SPAD) 44)

幼穂形成期の生育が小さい時
(窒素吸収量4kgN/10a未満)

幼穂形成期の生育が大きい時
(窒素吸収量4kgN/10a以上)



みずかがみの幼穂形成期の窒素吸収量と穂肥施用による収量への影響 (滋賀農技セ 2022)

7.幼穂形成期以降の管理

・幼穂形成期以降は、通常栽培と同様の管理を行う。

Ⅱ ヘアリーベッチを活用した水稲みずかがみ栽培

1 技術のねらい

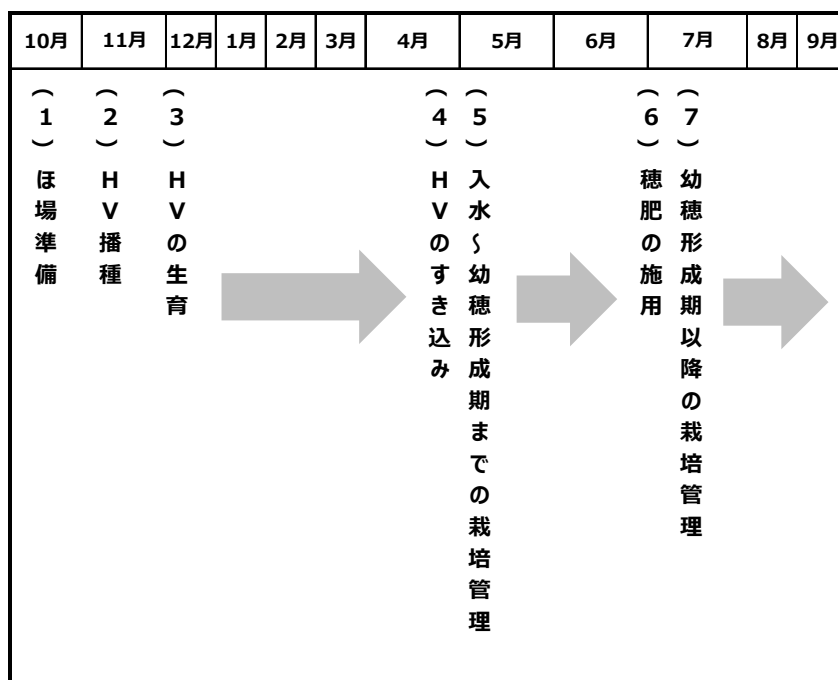
県内の水稲栽培において、環境こだわり農業やオーガニック農業をさらに推進していくためには、マメ科植物であるヘアリーベッチ(以下、「HV」)やレンゲといった緑肥の活用が効果的である。また、緑肥を活用することにより、肥料費節減効果が期待できる。

HVは、春先の生育が速いため、すき込み適期までに生草重を確保でき、根粒菌が固定した窒素も利用できるため、緑肥として活用しやすい。また、レンゲよりも窒素含量が高く炭素率が低いため、すき込むと土壤中で比較的速やかに窒素無機化が進むことから、肥料的効果が期待でき、水稲栽培の基肥として活用できる。

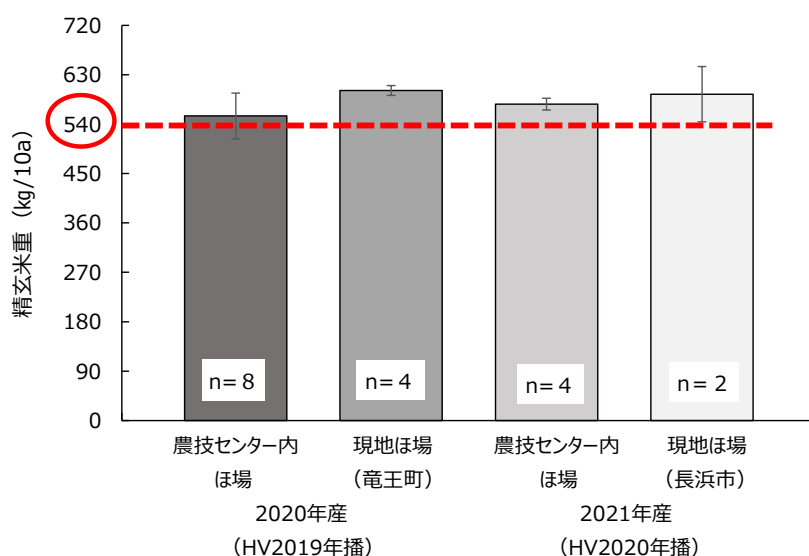
2 技術の基本的な考え方

4月上旬にヘアリーベッチ（以下、「HV」。生草重2t/10a）をすき込み、5月上旬移植のみずかがみ栽培の基肥として活用する。穂肥は、幼穂形成期の生育に応じて施用する。目標収量は、540 kg/10aを想定している。

HVを活用した水稲みずかがみ栽培 フロー図



みずかがみ栽培において、基肥としてHV(生草重2t/10a)をすき込み、幼穂形成期の生育に応じて穂肥を施用する栽培体系により、540 kg/10a以上の収量を安定して確保できる(図Ⅱ-2-1)。



図Ⅱ-2-1 HV跡みずかがみの精玄米重(滋賀農技セ調査)

注1)2020~2021年の調査結果。エラーバーは標準偏差を示す。

注2)穂肥は化成肥料(1.5 kg N/10a または 3.0 kg N/10a)を施用。

注3)収量は、坪刈り収量である。

3 技術の具体的な内容

(1) ほ場準備

HVは、湿害に弱い。出芽と生育を安定化させるためには、ほ場の排水性の良否に応じて、麦と同様に明渠・暗渠等の設置が重要である。HVの生育ムラは、のちの水稻栽培の生育ムラにつながるため、排水対策を徹底し、湿害を回避する。

また、土壌が酸性条件(pH5.5以下)では、発芽不良になるため、酸性条件のほ場では、pH(目標pH6.0)を矯正することが望ましい。

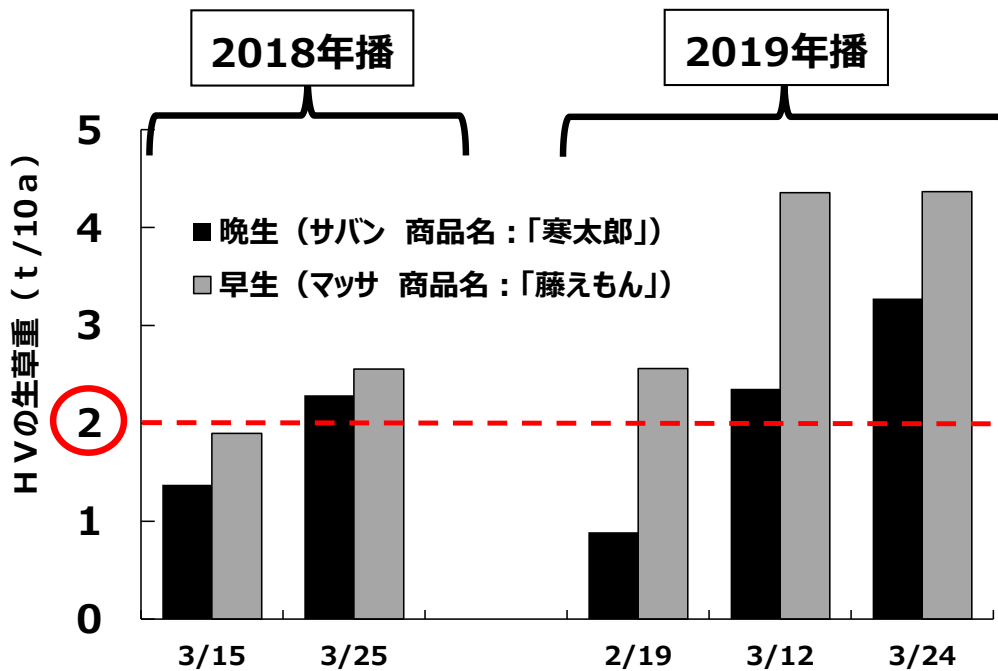
(2) 播種

① 品種

HVの品種について、本県では、晩生品種が適する。

早生品種では、冬季の気温が平年より高いと、目標生草重である2t/10aを2月中旬に超過する場合がある。一方、晩生品種は、早生品種に比べ、生育が緩慢であり、耐寒・耐雪・耐湿が優れていることから、安定して生育量が確保できる(図Ⅱ-3-1)。

なお、晩生品種としては、サバン(商品名:寒太郎)や、ウインターベッチ(商品名同じ)がある。



図Ⅱ-3-1 HVの早生および晩生品種における生草重の違い (滋賀農技セ 2022)

注1) 11～2月の積算気温は2018年播：922℃、2019年播：995℃、

2020年播：883℃、過去10年(2010～2019年)：808℃(彦根气象台)。

注2) 2018年播：2018年10月19日播種。2019年播：2019年10月16日播種。

注3) 農技センター内ほ場(近江八幡市)で調査。

② 播種方法

播種方法については、条播もしくは散播で行うが、条播を推奨する。

条播は、麦播種と同様で、覆土を同時に行え、播種ムラを軽減できる。散播は、動力散布機等で行う。動力散布機等で播種する場合は、ほ場が乾いている時に耕起を行い、すぐに均一に播種する。耕起後直ちに播種することで、土塊に種子が入り込み、覆土を省略することができる。

なお、播種の際は、麦栽培ほ場への混入や畦畔での雑草化を防ぐため、周辺ほ場へ種子が飛ばないように留意する。

播種量については、3～5 kg/10aとする。播種ムラがのちに生育ムラに繋がるため、初めて取り組む場合は、5 kg/10aを目安として、多めに播種することが望ましい。

③ 播種時期

HV(晩生品種)の播種時期について、県北部では10月上旬、県南部では10月中旬～11月上旬に播種する(表Ⅱ-3-1)。それぞれの時期に播種(播種量5 kg/10a)した結果、4月上旬には生草重2 t/10aを確保できた(表Ⅱ-3-2)。

表Ⅱ-3-1 HVの推奨品種と播種時期（滋賀農技セ調査）

	推奨品種	播種時期
県北部	晩生品種 (商品名：寒太郎、ウインターベッチ等)	10月上旬
県南部		10月中旬～11月上旬

表Ⅱ-3-2 HV(晩生品種)の播種時期と生草重（滋賀農技セ 2022）

	播種日	2 t/10aを 確認した日	確認した時の 生草重 (t /10a)
2018年播（近江八幡市）	10/19	3/25	2.3
2019年播（近江八幡市）	10/16	3/12	2.4
2020年播（近江八幡市）	11/4	4/12	2.1
2020年播（長浜市）	10/6	3/30	2.3

注)11～2月の積算気温は、図Ⅱ-3-1に同じ。

(3) HVの生育(晩生品種)

播種後2週間程度で発芽し、1か月後にはHVの姿を目視で確認できる。冬場は、生育が止まり、寒さにあたると一部赤色に変色する場合があるが、春先には緑色に戻る(図Ⅱ-3-2～4)。

気温が上昇する3月には、生育が旺盛となり、1～2週間で生育量が倍増する(図Ⅱ-3-5、6)。



図Ⅱ-3-2 発芽した様子
(11/4播種、播種後13日後)



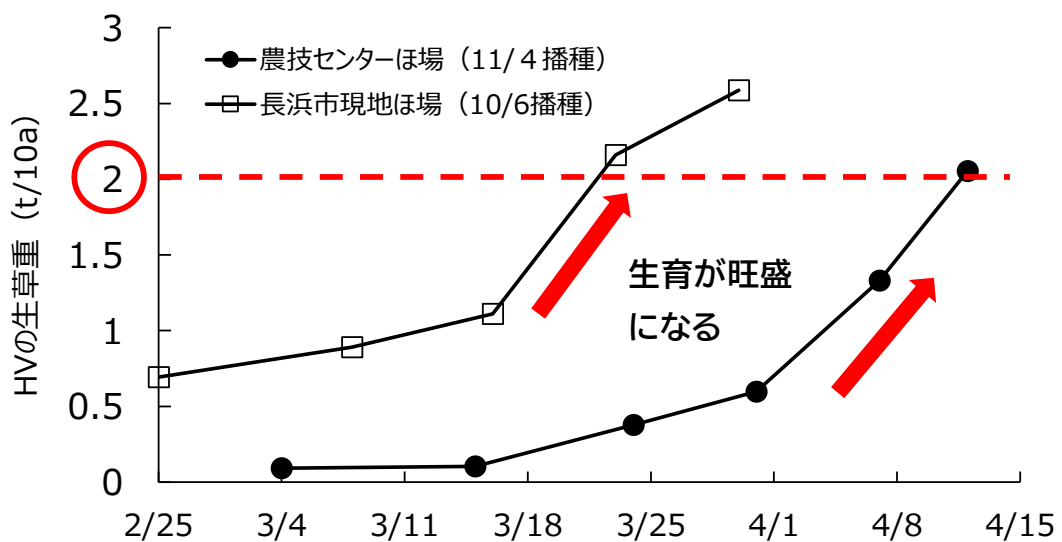
図Ⅱ-3-3 播種後約1か月後の様子
(11/4播種)



図Ⅱ-3-4 赤色に変色した様子
(12月下旬)



図Ⅱ-3-5 3月中旬のHV(晩生品種)の様子



図Ⅱ-3-6 HV(晩生品種)の生草重の推移(滋賀農技セ調査)
注) 2021年調査(2020年播種)。

(4) HVのすき込み

① すき込み量

HVのすき込み量については、窒素供給量を考慮すると生草重2 t/10a程度が望ましい。

2 t/10a を超えると窒素供給量の過多となり、倒伏やそれに伴う外観品質の低下、玄米蛋白質含有率の上昇を引き起こす。生草重 4.6 t/10a(窒素量約 20 kg)をすき込んだ調査事例では、収量は多くなるが、倒伏が大きくなり、品質の低下が見られた。

HVのCN比は11程度であり、比較的速やかに窒素無機化が進むことから、肥料的効果が高い。また、生草重2t当たりの養分供給量は、おおよそ窒素13kg、リン酸2kg、カリ14kgであり、窒素とカリが多い(表Ⅱ-3-3)。

また、土壌にすき込んだHVから無機化して、水稻の肥料成分として供給される窒素量について、HVから生じるアンモニア態窒素量の割合は、おおよそ60%である(HVすき込みから入水までの期間を1～3週間と想定した培養試験の結果)(図Ⅱ-3-7)。

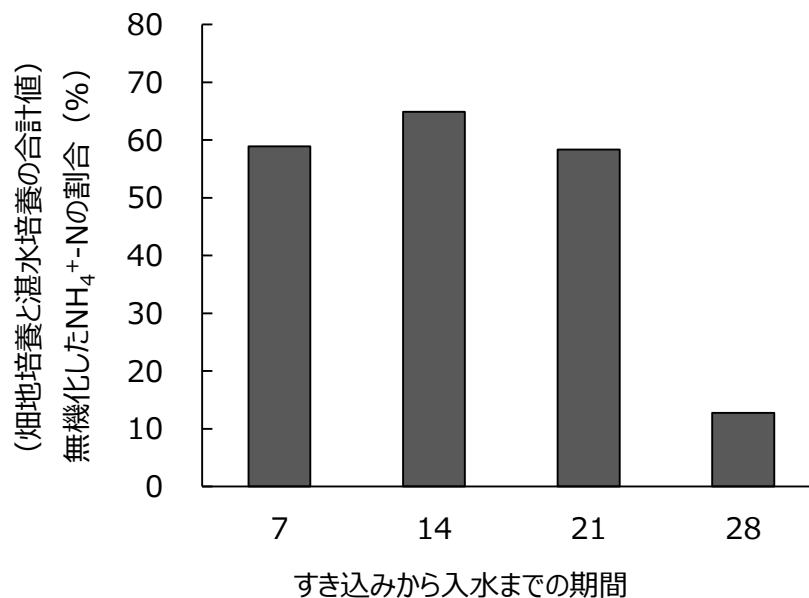
表Ⅱ-3-3 HVのCN比および生草重2t当たりの養分供給量(滋賀農技セ調査)

CN比	生草重2t当たりの養分供給量(kg)		
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
10.9 ± 0.5	12.6 ± 1.2	2.1 ± 0.2	14.4 ± 6.2

注1) 値は平均値±標準偏差。CN比、窒素：n=18、リン酸、カリ：n=5。

CN比の値は乾物当たり。

注2) 2020～2021年農技センター(近江八幡市)内および現地ほ場(長浜市)で生育したHVを調査。



図Ⅱ-3-7 HVすき込みから水稻栽培期間におけるアンモニア態窒素生成量(滋賀農技セ 2021)

注) 室内培養試験の結果。①HVすき込みから入水までの期間を想定した畑地培養、②水稻栽培期間を想定した湛水培養により、①+②のアンモニア態窒素生成量の合計値を算出。

② 生草重 2 t/10a の判断

生草重 2 t/10a の判断目安は、草高(地上部からの草丈を自然な状態で物差しで計測)が 15 cm程度になったら、実際に刈り取って重量を計測することが望ましい(図Ⅱ-3-8、9)。

生草重 2 t/10a に達していなかった場合は、およそ 1 週間後に再度確認を行う。HVの生草重がすき込み予定日より早く生草重 2 t/10a に達した場合は、フレールモアで刈り取り後、すき込まずには場に置いておき、後日トラクタですき込む(図Ⅱ-3-10~13)。



図Ⅱ-3-8 物差しで草高を測定
(4月上旬)



図Ⅱ-3-9 HVの生草重の実測例
(50×50 cm木枠内を刈り取って実測)
(4月上旬)



図Ⅱ-3-10 生草重2t/10aの様子
(上から撮影)



図Ⅱ-3-11 生草重2t/10aの様子
(横から撮影)



図Ⅱ-3-12 生草重2t/10aのほ場



図Ⅱ-3-13 フレールモアでの刈り取り

③ すき込み方法

すき込みは、フレールモアで刈り取りを行った(ロータリ軸にHVが絡むのを防ぐため、フレールモアによる刈り取りを行う)のち、トラクタの速度を低速にし、丁寧な耕うんを行う。2t/10aを確保できた時点で、フレールモアで刈り取り、すき込みまで放置した場合も、同様にトラクタですき込む(図Ⅱ-3-14)。

なお、フレールモア以外にも、ストローチョッパーを活用する方法もある。



図Ⅱ-3-14 HVのすき込みの様子

④ すき込み時期

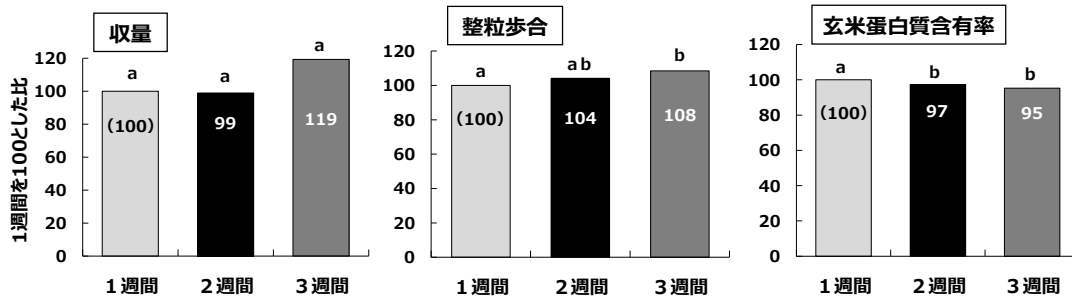
すき込み時期について、HVのすき込みから入水までの期間(以下、入水までの期間)は、3週間程度とする。

入水までの期間について、それぞれ1、2、3週間で設定し、調査した結果、移植翌日から中干し開始時までの土壌 Eh(土壌還元状態の指標)は、1週間が最も低く推移し、2および3週間区は高

く推移した。これらのことから、入水までの期間が短いと、入水後、HVの急速な分解が起こり、水稲に対して還元障害が生じる場合がある。

また、入水までの期間を3週間とした場合、1週間および2週間に比べ、収量(精玄米重)および整粒歩合は高く、玄米蛋白質含有率は低かった(図Ⅱ-3-15)。

「(4) ① すき込み量」で述べたように、HVに含まれる窒素の無機化量からみると好適な期間は1～3週間であるが、水稲の収量および品質を考慮すると、入水までの期間は、3週間程度が望ましい。



図Ⅱ-3-15 HVのすき込みから入水までの期間の違いによるみずかがみの収量および玄米品質 (滋賀農技セ 2022)

注1) 2020～2021年のライシメータでの試験結果。両年ともHV 2t/10a すき込み、穂肥 3kg N/10a 施用。

各試験区2反復で実施 (n=4)。

注2) 異なる記号間は5%水準で有意差があることを示す(Tukey法による多重比較検定)。

(5) 入水～幼穂形成期までの管理

先述の通り、HVすき込み後、3週間程度経過したら、入水する。入水以降は、通常のは場管理と同じでよい。ただし、葉の黄化や分けつが進まない等の還元障害の兆候がみられた場合は、2日程度軽く干し、初期生育を確保する(図Ⅱ-3-16)。

また、みずかがみ栽培では、分けつ過多などにより、紋枯病が発生しやすいため、発病に留意し、適切に防除する。



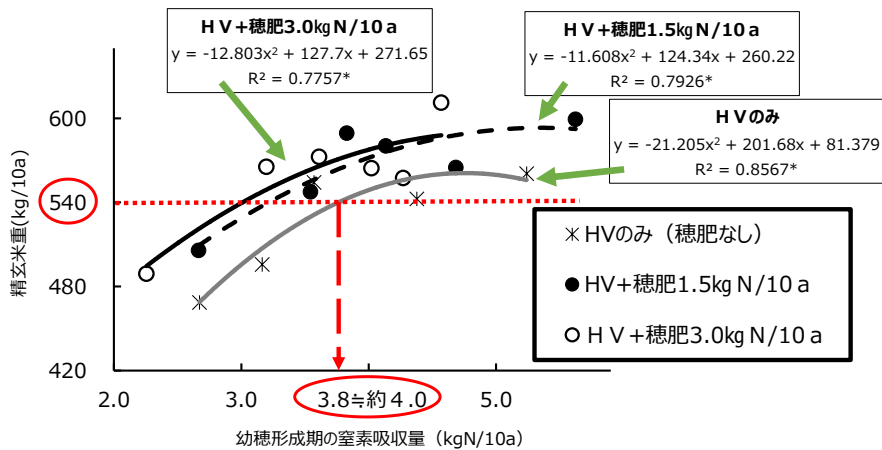
図Ⅱ-3-16 移植1か月後の葉が黄化している様子

(6) 穂肥の施用

穂肥の施用について、みずかがみの目標収量を 540 kg/10a とした場合、幼穂形成期の窒素吸収量が 4 kg N/10a 以上あれば、穂肥は省略できる。一方、4 kg N/10a に満たない場合は、穂肥を 1.5 kg N/10a 施用する。

幼穂形成期の窒素吸収量と収量の関係は深く、幼穂形成期の窒素吸収量と穂肥施用に伴う収量について、図Ⅱ-3-17のような関係が見られた。得られた関係式によれば、幼穂形成期の窒素吸収量がおおよそ 3.8 kg N/10a あれば、穂肥を省略しても収量 540 kg/10a を確保できることが示された。このことから、幼穂形成期の窒素吸収量 4 kg N/10a を目安に穂肥施用の有無を判断する(図Ⅱ-3-18)。

なお、幼穂形成期の窒素吸収量 4 kg N/10a 未達の目安として、HV跡みずかがみの調査結果を表Ⅱ-3-4に示した。

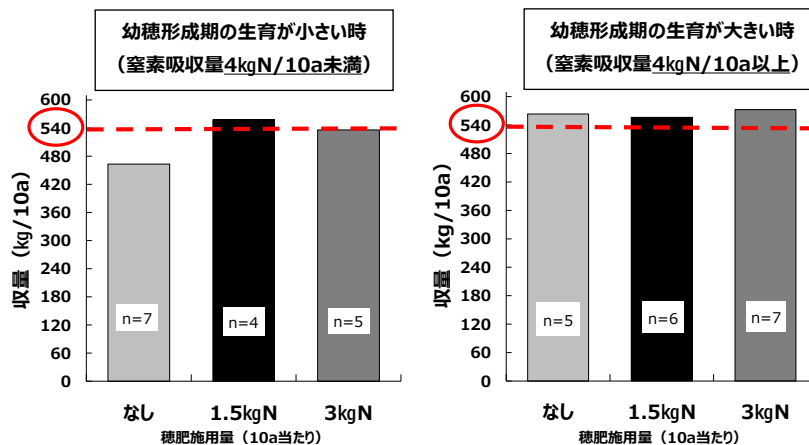


図Ⅱ-3-17 HVすき込みにおける幼穂形成期の窒素吸収量と収量の関係 (滋賀農技セ調査)

注1) 2020~2021年農技センター内ほ場で調査。

注2) HVのみ : n = 5、HV+穂肥 1.5 kg N/10a およびHV+穂肥 3.0 kg N/10a : n = 6。

*は、5%水準で有意を示す。



図Ⅱ-3-18 みずかがみの幼穂形成期の窒素吸収量と穂肥施用による収量への影響 (滋賀農技セ 2022)

注1) 2020~2021年農技センター内および現地ほ場(長浜市)での調査。

注2) いずれもHV2t/10aのすき込み。

表Ⅱ-3-4 HV跡みずかがみの幼穂形成期の窒素吸収量と生育（滋賀農技セ調査）

窒素吸収量	n	茎数（本/株）	葉色（SPAD）
4 kgN/10未満（平均3.2kgN/10a）	16	21	44
4 kgN/10以上（平均5.8kgN/10a）	18	26	46

注 1)60 株/3.3 m²植。

注 2)2020～2021 年農技センター内および現地ほ場（長浜市）での調査。

注 3)いずれもHV 2t/10a のすき込み。

(7) 幼穂形成期以降の管理

幼穂形成期以降は、通常栽培と同様の管理を行う。特に、水管理、カメムシ類の防除に留意する。成熟期になったら、刈り取り適期（籾黄化率 85～90%）を逃さずに収穫する。

4 その他参考

(1) HVの雑草抑制効果

HVには、アレロパシー作用による雑草の発芽を抑制する効果がある。そのため、裏作として秋から春先に栽培することで、基肥の代替だけでなく、非作付け期の冬場のほ場の雑草の抑制も期待できる。

(2) HVにかかる経費

HVの種子と穂肥にかかる経費は、合わせて7,271円/10aである（HV種子は5kg/10a（6,600円）、穂肥は化成肥料 1.5 kg N/10a（671円）で計算。播種やすき込みにかかる経費は、計上していない）。なお、みずかがみ全量基肥肥料は7kg N/10a 相当で、10,222円/10a。価格は、いずれも令和3年（2021年）の一例。

(3) 主要研究成果情報（参考資料）

- ・水田土壌における緑肥に含まれる窒素の無機化特性（令和2年度）
- ・緑肥へアリーベッチを活用した水稻みずかがみ栽培技術の確立（令和3年度）

(4) レンゲ跡水稻栽培について

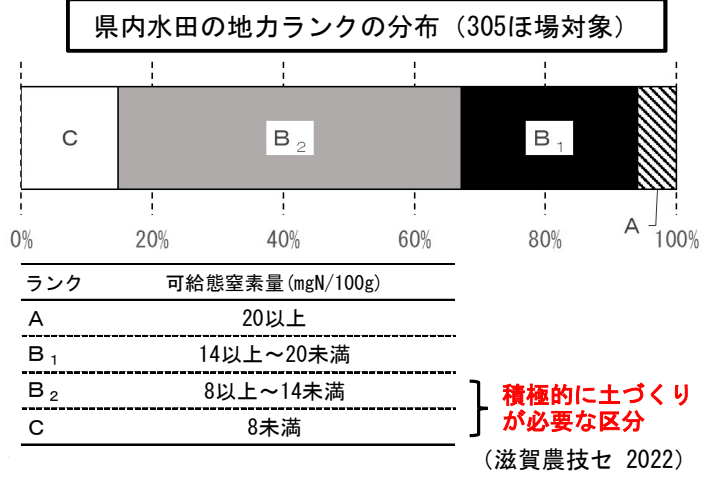
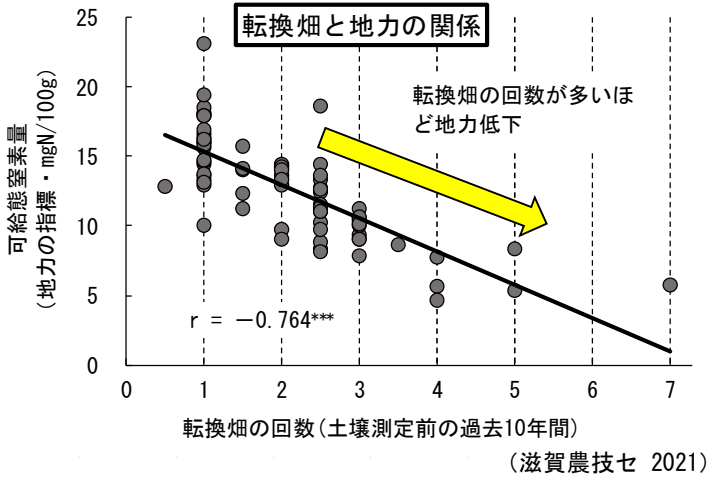
レンゲを活用した水稻栽培技術については、土づくり技術対策指針（平成14年3月）および稲作技術指導指針（平成27年2月）を参考にする。

水田地力の簡易な測定法と土づくり

1 県内の水田地力が低下しています

水田転換畑栽培（麦、大豆、野菜等）の増加に伴い、地力が低下しています。

県内の約2/3の水田は、積極的な土づくりが必要です。



2 「簡易評価法」により水田地力を短時間で測定できます

水田地力の指標となる可給態窒素量は、簡易評価法により、従来の公定法（湛水培養法）に比べ、労力や時間をかけずに測定できます。

従来の可給態窒素量の公定分析法

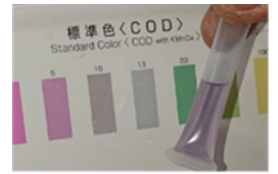
時間と労力が必要



新たな簡易評価法

短時間で簡易に地力を把握！

絶乾土を水で振とう抽出。抽出液をCOD簡易測定キットで測定

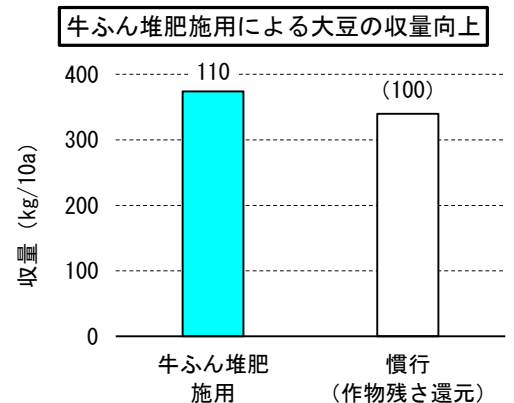
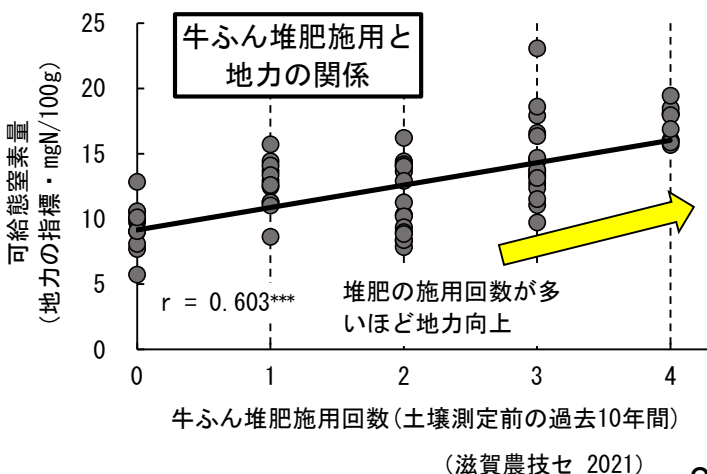


※簡易評価法は、県内の主要な水田土壌（グライ低地土(湿田)など）いずれにも利用できます

3 水田地力を向上させるには、牛ふん堆肥の施用が効果的です

牛ふん堆肥の施用は、水田地力を向上させます。

牛ふん堆肥の施用は、作物の収量を向上させます。



※小麦-大豆の体系において、小麦栽培前に牛ふん堆肥 2 t / 10a を施用。数字は収量比。

(滋賀農技セ 2020)

Ⅲ 水田地力の簡易な測定法と土づくり

1 滋賀県の水田地力の実態

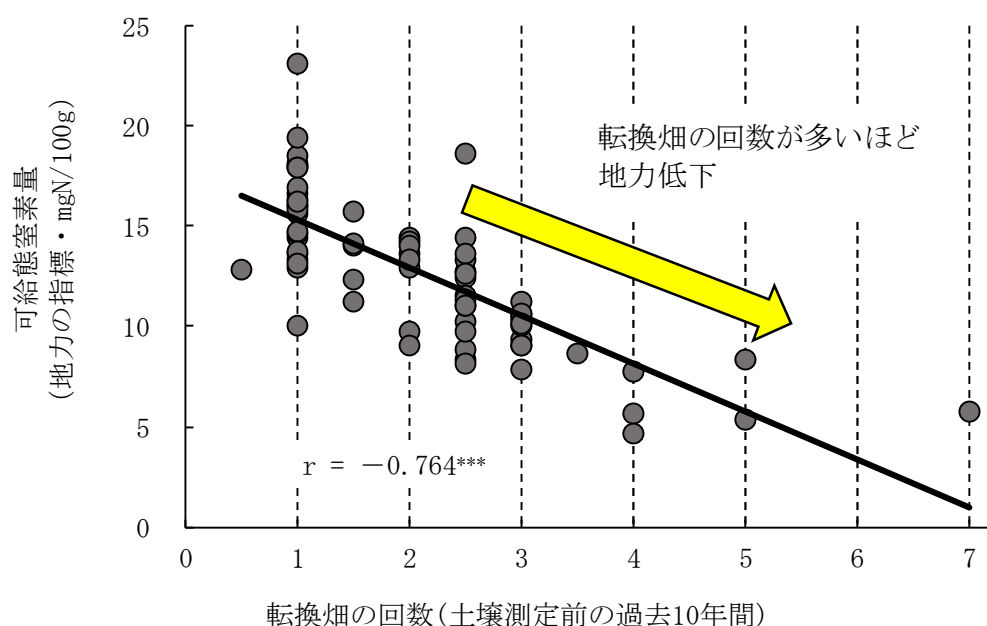
(1) 水田転換畑栽培の増加に伴う地力低下

滋賀県内では、米の需給調整や農家の所得向上に向けた水田フル活用施策により、水田転換畑栽培（いわゆる「転作」）が増加している。地域による差はあるものの、近年では3年に1回のサイクルで転換畑栽培を行う水田が多い。

一方で、転換畑栽培は、土壌中有機物の分解が進むため、地力（ここでは土壌窒素肥沃度を指す）の低下を引き起こす原因にもなる。

図Ⅲ-1は、土壌中の可給態窒素量（土壌からゆっくりと作物に吸収利用されやすい形態へ変化する窒素量で地力の指標となる）と、過去10年間の転換畑回数の関係をほ場別に示したものである。転換畑回数が増えるにつれ、可給態窒素量は減少し、地力が低下する。

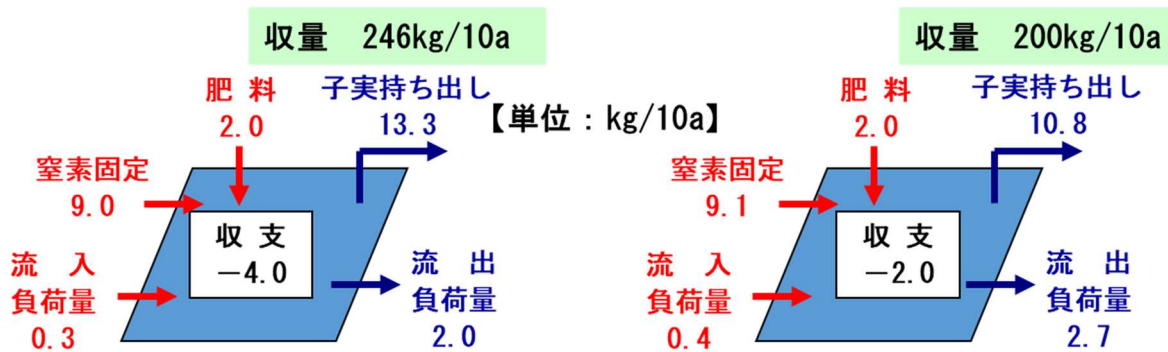
特に、大豆栽培では、栽培期間中における窒素収支（ほ場へ入る窒素成分（収入）から、出る窒素成分（支出）を差し引いた値）はマイナスの値であり、大豆栽培1作当たり約2～4kgN/10aの窒素が土壌から減少すると試算され、転換畑での地力の低下を助長する（図Ⅲ-2）



図Ⅲ-1 転換畑回数と可給態窒素量の関係（滋賀農技セ 2021）

注1) 県内A集落の71ほ場を対象。土壌は2019、2020年に採取測定。

2) 1年間水稲を作付せずに畑作物を栽培した場合、転換畑の回数を1回、麦-水稲の二毛作は、転換畑回数を0.5回とした。***は0.1%水準で有意。



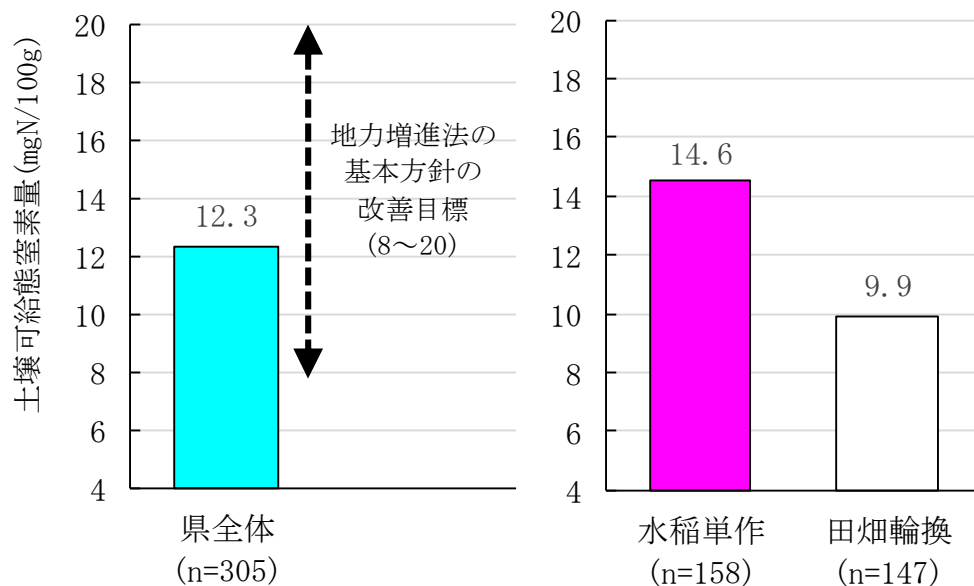
図III-2 大豆栽培ほ場の窒素収支 (滋賀農技セ 2014)

- 注1) 収支=収入(肥料+窒素固定+流入負荷量)-支出(子実吸収+流出負荷)。
 流入負荷量=降水。流出負荷量=地表排水+暗渠排水+浸透水。
 2) 脱窒量および大豆の茎・莢(ほ場に全量還元)は収支に含めていない。
 3) 左図は2011年、右図は2013年における現地試験の結果。

(2) 県内水田における土壌可給態窒素量と地力診断ランクの判定

農業技術振興センターでは、直近の水田地力の実態を把握するため、県域にわたる水田 305 地点を対象に可給態窒素量を調査した。

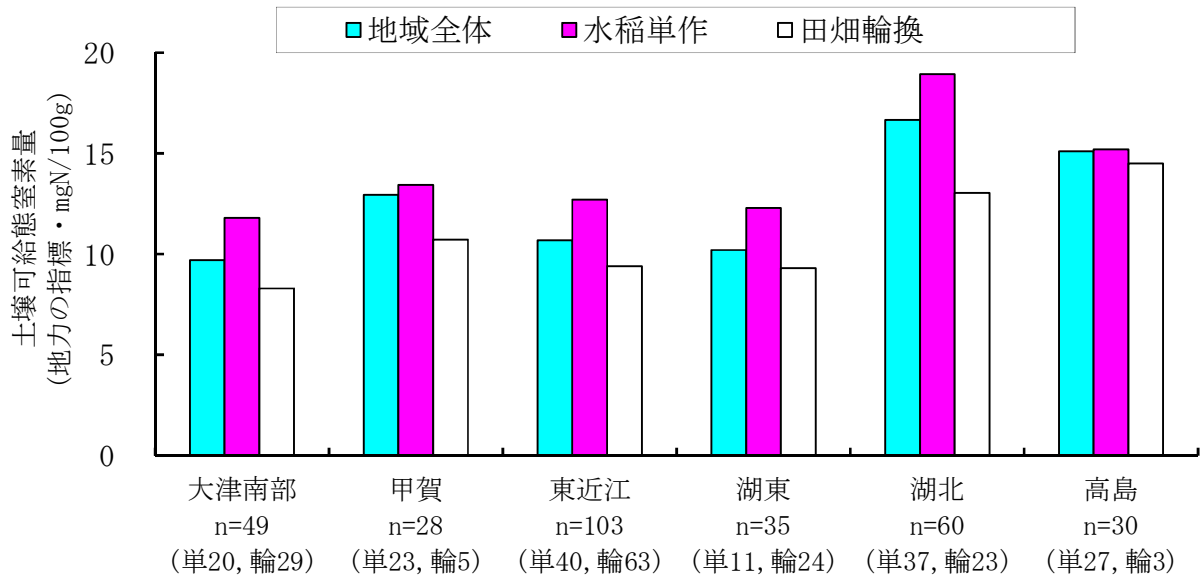
県域の水田における可給態窒素量(乾土 100g あたり)は 4.3~35.7 mgN の範囲にあり、平均値は 12.3 mgN であった。先にも述べたように、転換畑栽培の影響は大きく、水稻単作ほ場に比べ、田畑輪換ほ場(直近3か年に転換畑栽培行った水田)で低かった(以上、図III-3)。



図III-3 県域の水田における可給態窒素量 (滋賀農技セ 2022)

- 注1) 棒グラフの値は平均値。単位は mgN/100g。***は 0.1%水準で有意を示す(t検定)。
 2) 田畑輪換は、調査前の直近3か年に転換畑栽培の実績があるほ場。

地域別にみると、湖北、高島地域の県北部では、県南部に比べると高い傾向にあった。原因として、積雪等による冬期間の降水量の増加や低温の影響、さらに秋耕を行わないほ場が多いことにより、土壌中有機物の分解が抑えられ、結果として地力が維持されていると推察される。



図III-4 各地域の水田における可給態窒素量 (滋賀農技セ調査)

注1) いずれの地域も水田 130~140ha に 1 点の割合で 2019~2021 年に調査。

2) 田畑輪換は、調査前の直近 3 か年に転換畑栽培の実績があるほ場。() 内の数字は、それぞれ「単」は水稻単作、「輪」は田畑輪換のほ場数を示す。

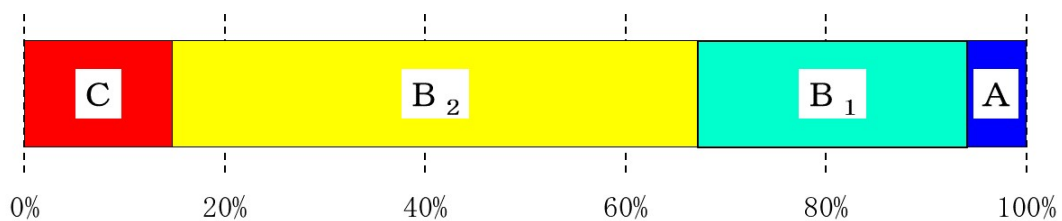
これら 305 地点の水田ほ場について、可給態窒素量に基づいた地力ランクの区分 (表III-1) により分類したところ、積極的な土づくりが必要と判断される B₂~C ランクは合わせて 67% を占めた (図III-5)。B₂~C ランクでは、作物残さ (稲わら、麦わら等) のすき込みに加え、牛ふん堆肥や緑肥などの有機物をさらに投入するよう努める。なお、田畑輪換ほ場では、作物残さのすき込みだけでは、地力は維持できない。県全域で地力低下が進んでいることから、有機物の補給を中心とした継続的な土づくりが必要である。

表III-1 可給態窒素量に基づいた地力ランクの区分

ランク	土壤可給態窒素量 (mgN/100g 乾土)
A	20以上
B ₁	14以上~20未満
B ₂	8以上~14未満
C	8未満

積極的に土づくり
が必要な区分

注) 上記区分は、地力増進法の改善目標 (8~20mgN/100g) を基本としつつ、過去から地力が維持されている水稻単作ほ場の県内平均値 (14.6mgN) を考慮し設定した。



図III-5 県内水田ほ場における地力ランク別の分類結果 (滋賀農技セ 2022)

注) 2019~2021 年に土壤採取した県域 305 ほ場対象。ランクは表III-1 に基づく。

2 容易に行える地力の測定 ～可給態窒素量の簡易評価法の活用～

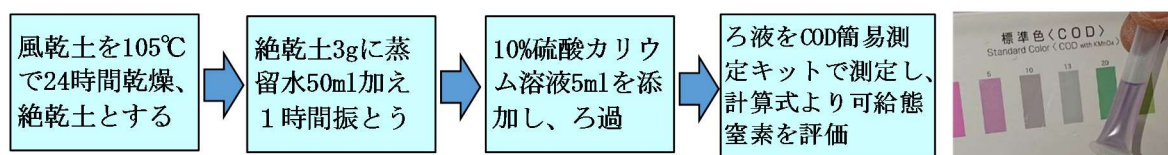
(1) 簡易評価法の概要

土壌中の可給態窒素量を評価することで、地力のランクや土づくりの必要性を把握することができる。しかし、従来の公定法である湛水培養法（風乾土を 30℃ 4 週間培養し生成した無機態窒素量を測定）は時間と労力を多く必要とし、多数の診断は困難であった。

農研機構（国の研究機関）で開発された簡易評価法は、可給態窒素量を迅速に把握することができ、多数の診断も可能である。

簡易評価法は、風乾土を 105℃ で 24 時間乾燥させた絶乾土を水で振とう抽出し、化学的酸素消費量（COD量）から可給態窒素量を迅速に把握する方法で、絶乾土にすれば 1 日で測定できる。なお、COD量は市販の簡易測定キットを用いれば容易に測定できる（図Ⅲ-6）。

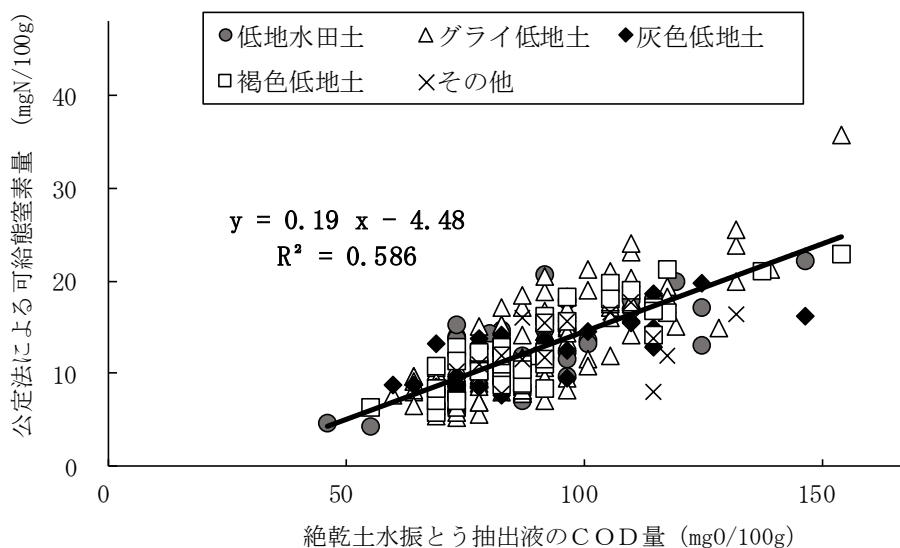
※簡易評価法の詳細は、「水田土壌可給態窒素の簡易・迅速評価マニュアル」（農研機構 HP 等で公表）参照。



図Ⅲ-6 簡易評価法の手順（農研機構マニュアルから引用）

(2) 簡易評価法の本県水田土壌への適用性

本県の水田土壌について、上記の手順で得られた絶乾土水振とう抽出液のCOD量と、可給態窒素量（公定法）は有意に相関関係があることから、簡易評価法は、本県水田土壌の可給態窒素量の測定に活用できる。本県の主要な土壌タイプ（グライ低地土、灰色低地土等）に対していずれも適用できる（図Ⅲ-7）。



図Ⅲ-7 可給態窒素量と絶乾土水振とう抽出液COD量の関係（滋賀農技セ 2021）

注) 2019、2020年に県内水田262ほ場の土壌を測定。***は0.1%水準で有意を示す。

(3) 簡易評価法による可給態窒素量の求め方

簡易評価法で測定した絶乾土水振とう抽出液のCOD量から、下記の計算式により、土壌中の可給態窒素量を推定できる。

本県水田土壌における可給態窒素量の推定式

可給態窒素量(mgN/100g) =

$$0.19 \times \text{COD 測定値(mg/L)} \times \frac{55(\text{ml} \cdot \text{抽出液量})}{3(\text{g} \cdot \text{土重})} / 10(\text{単位換算}) - 4.48$$

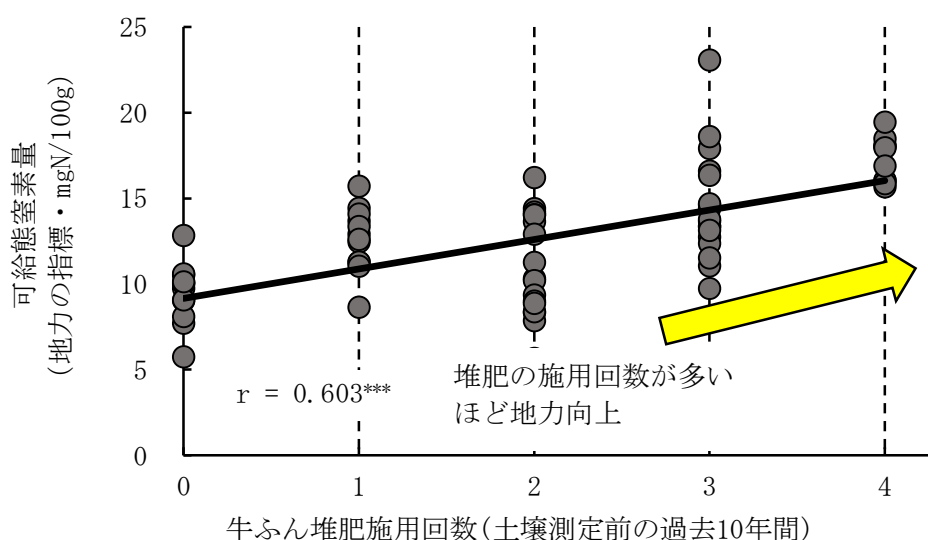
3 地力向上に向けた取り組み ～牛ふん堆肥施用による土づくり～

(1) 牛ふん堆肥施用による水田地力の向上

地力の維持・向上のためには、継続的な有機物の補給が必要である。特に、牛ふん堆肥（以下、堆肥）は、県内各地域で発生する良質な有機物であり、土づくりに有効である。

図Ⅲ-8に、ほ場別の過去10年間の堆肥の施用回数と可給態窒素量の関係を示した。堆肥の施用回数が多いほ場では可給態窒素が増加し、地力が向上する。

また、土壌の孔隙（土の隙間：土壌の液相および気相を示す）が増加し、物理性も改善されることから、排水性が重要な畑作物に好影響を与える。



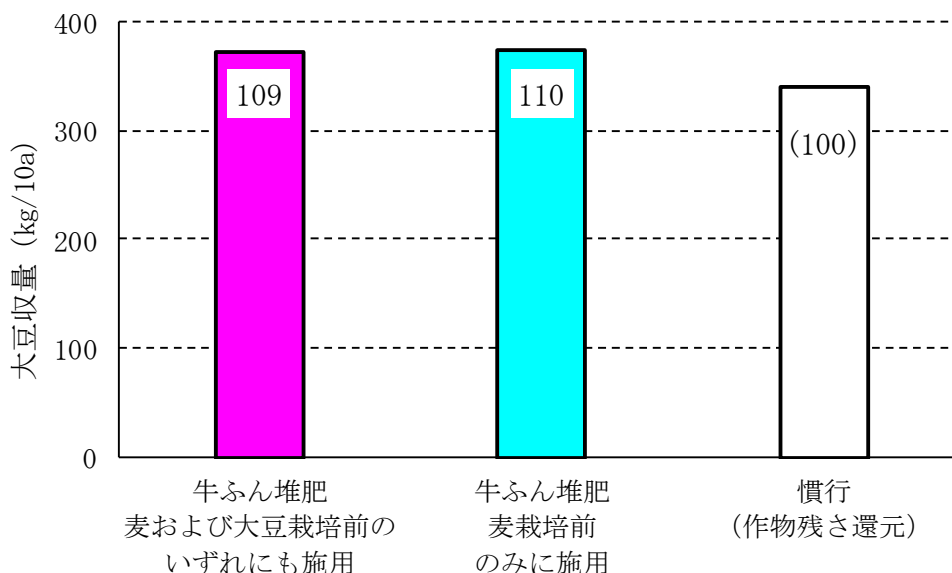
図Ⅲ-8 牛ふん堆肥の施用回数と土壌可給態窒素量の関係（滋賀農技セ 2021）

注）県内A集落の71ほ場を対象。土壌は2019、2020年に採取測定。堆肥1回の施用量は2t/10a

(2) 牛ふん堆肥施用による作物の収量向上

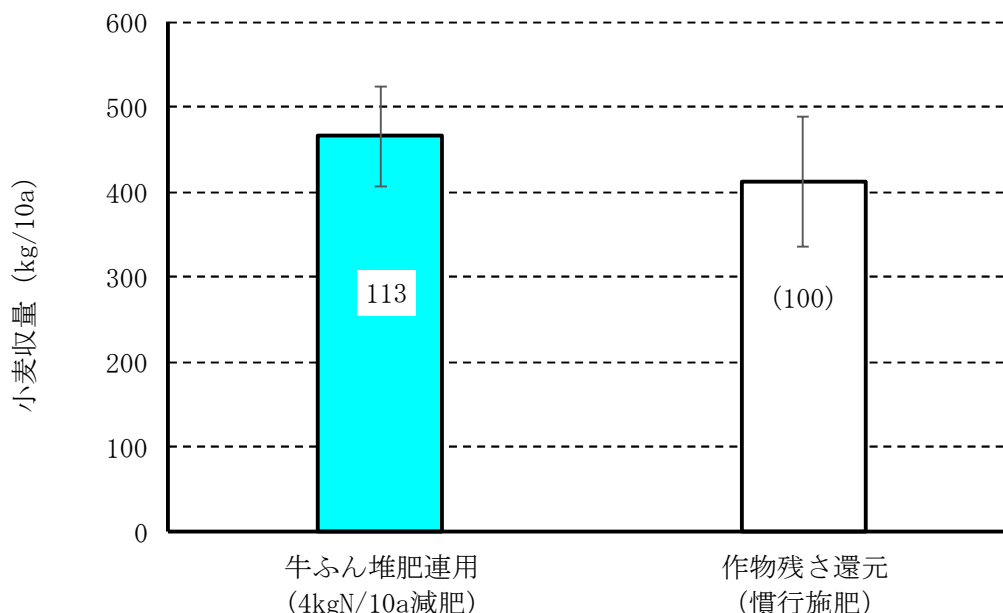
堆肥の施用は、地力の向上に伴い、作物の収量を向上させる。

3年4作体系（小麦-大豆-水稻-水稻）において、麦栽培前だけに1～2 t/10a 施用すれば、堆肥の施用効果は長期間持続するため、大豆栽培にも効果が認められる（図Ⅲ-9）。また、堆肥の施用を継続すれば、小麦栽培の減肥につながり、収量も高く安定する（図Ⅲ-10）。



図Ⅲ-9 堆肥施用による大豆の収量向上（滋賀農技セ 2020）

注) 2019年現地調査の結果。牛ふん堆肥の施用量は2t/10a/回。品種：フクユタカ。
棒グラフ内の数字は慣行を100とした時の収量比。

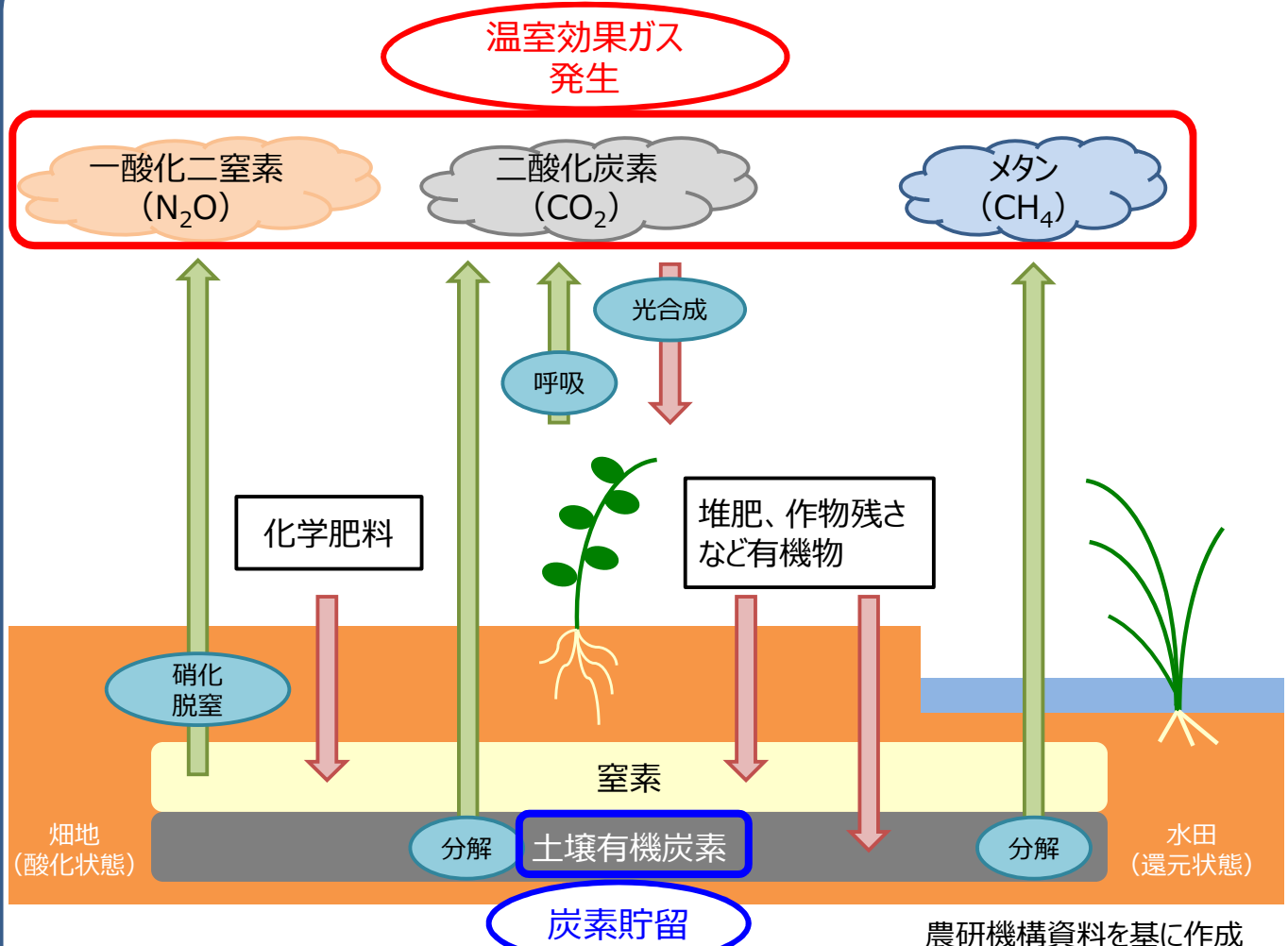


図Ⅲ-10 堆肥連用による小麦の減肥栽培（滋賀農技セ調査）

- 注1) 農技セ内における堆肥連用試験の結果。水稻-水稻-小麦-大豆の3年4作体系。品種：農林61号。
 2) 棒グラフの値はそれぞれ6作（2004, 07, 10, 13, 16, 19年）の平均値、エラーバーは標準偏差、棒グラフ内の数字は作物残さ還元を100とした時の収量比をそれぞれ示す。
 3) 牛ふん堆肥連用区は、水稻跡（3年で2回）に2t/10a/回施用し、小麦栽培中の窒素施肥量について、作物残さ還元比べ、基肥、追肥を2kgN/10aずつ、計4kgN/10a減量している。

IV 農耕地管理で地球温暖化を緩和する ～CO₂ネットゼロ実現に向けた取り組み～

農耕地から発生する温室効果ガスと炭素循環



農耕地の土壌は、温室効果ガスである一酸化二窒素 (N_2O)、二酸化炭素 (CO_2)、メタン (CH_4) の発生源であるとともに、炭素を貯留する場でもあります。

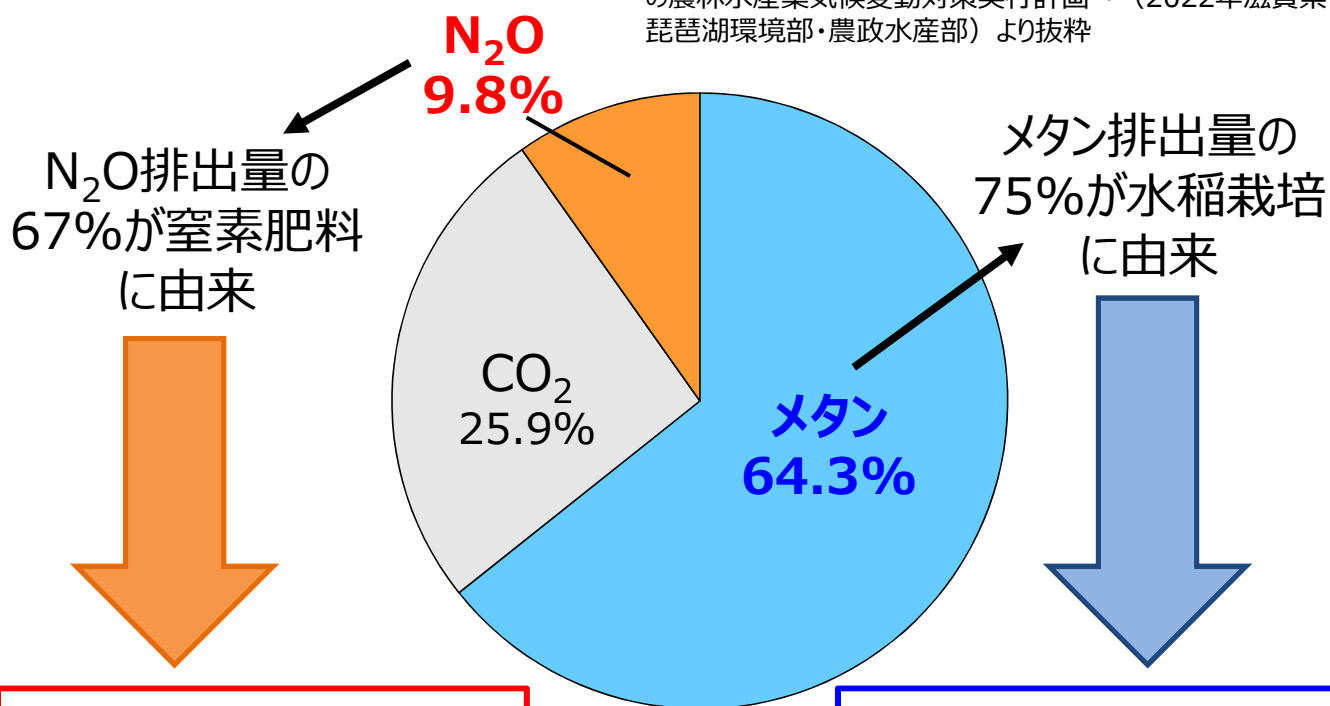
地球温暖化を防止するためには、**農耕地土壌から発生する温室効果ガスを抑え、土壌中の炭素（有機炭素＝稲わらや堆肥などに由来する有機物）を増やすこと（炭素貯留）**が重要となります。

なお、土壌中の炭素を増やすことは、地力の向上にもなり、作物の安定生産につながります。

農耕地から排出する温室効果ガス

滋賀県農業分野での温室効果ガス排出量(CO₂換算)

CO₂ネットゼロ実現と気候変動への対応～みらいを創る しがの農林水産業気候変動対策実行計画～（2022年滋賀県琵琶湖環境部・農政水産部）より抜粋



畑作の施肥における排出削減技術が重要

水稻作における排出削減技術が重要

※地球温暖化係数 メタン：28、N₂O：273
CO₂を1とした場合、メタンは28倍、N₂Oは273倍の温室効果を示します。
(IPCC第6次評価報告書第1作業部会報告書)

水稻作におけるメタン排出削減技術

水稻栽培期間中に行う中干しを延長することでメタンの排出を削減することができます。

畑作の施肥におけるN₂O排出削減技術

緩効性肥料を利用することでN₂Oの排出を削減することができます。

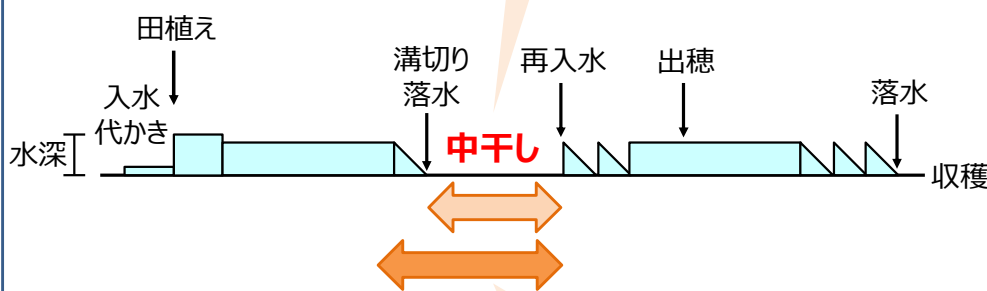
中干し期間延長で水稲作のメタン排出量を減らす！

中干し期間を延長する

「中干し」は、

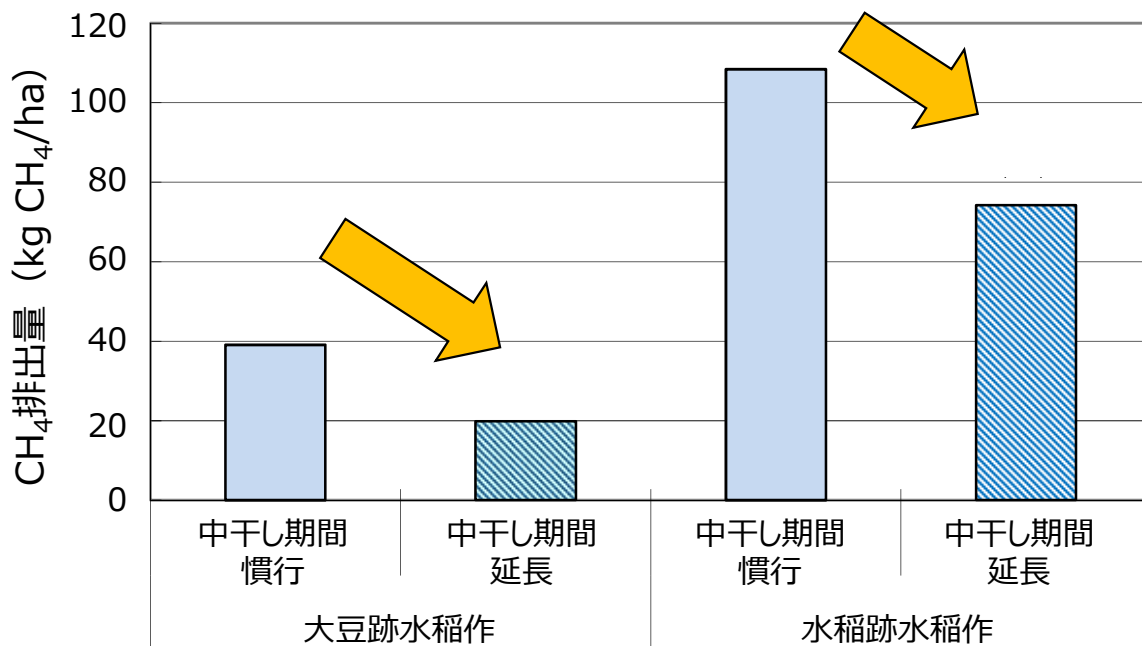
- ①無効分げつの発生を抑える（過剰な生育を抑える）
- ②土の中に酸素を供給し、根を健全にするなどの効果があります。

水稲栽培期間の水管理



「中干し」を通常の1週間から2週間以上に延長することでより多くの酸素が土壌に入り、メタンの発生を通常よりも削減できます。

中干し期間の延長によるメタン排出削減効果

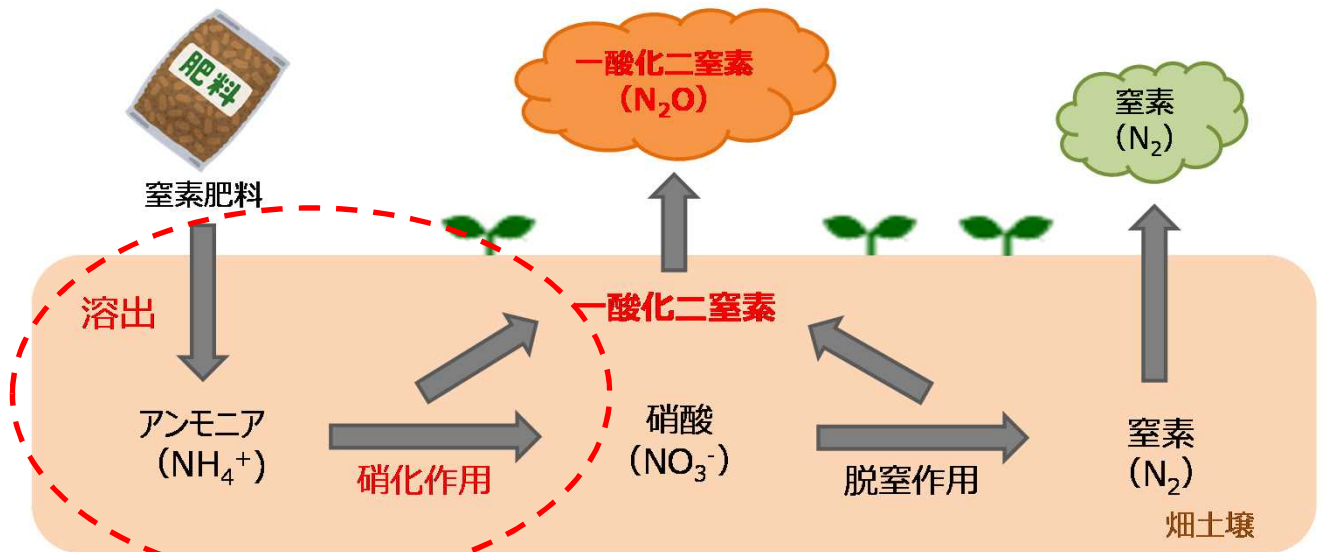


(滋賀農技セ 2016)

田畑輪換体系における水稲作で中干し期間を延長することにより、収量に影響なく、メタン排出量を30%～50%削減できます。

緩効性肥料の利用で麦・大豆作のN₂O排出量を減らす！

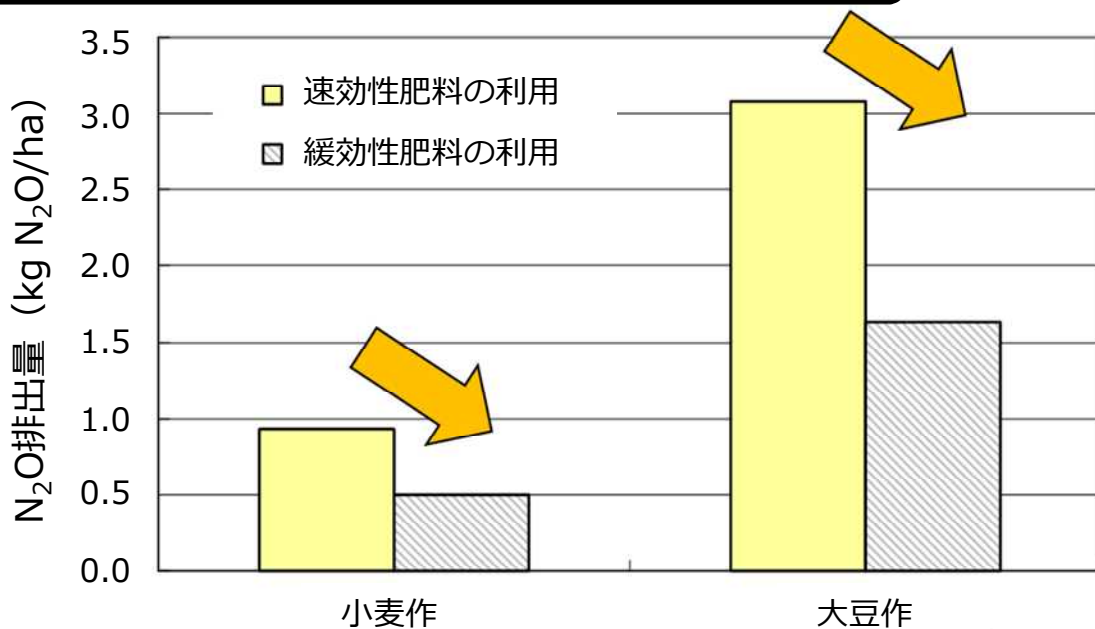
緩効性肥料を利用する



農研機構資料を基に作成

窒素成分がゆっくりと溶出する緩効性肥料を使うことで、窒素利用率が向上し、また硝化作用（副産物としてN₂Oが排出）が緩やかになることで、N₂Oの排出が削減されます。

緩効性肥料の利用によるN₂O排出削減効果

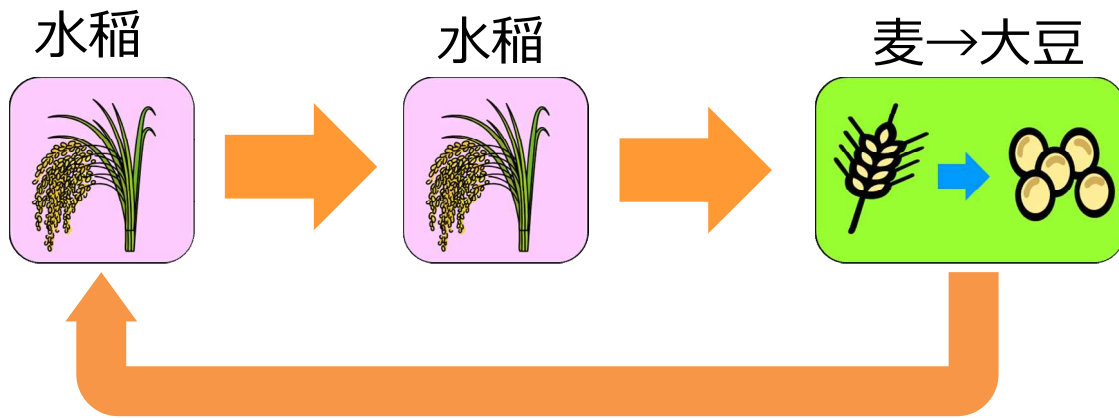


(滋賀農技セ 2016)

小麦・大豆作で緩効性肥料の利用により、収量に影響なく、N₂O排出量を約50%削減できます。

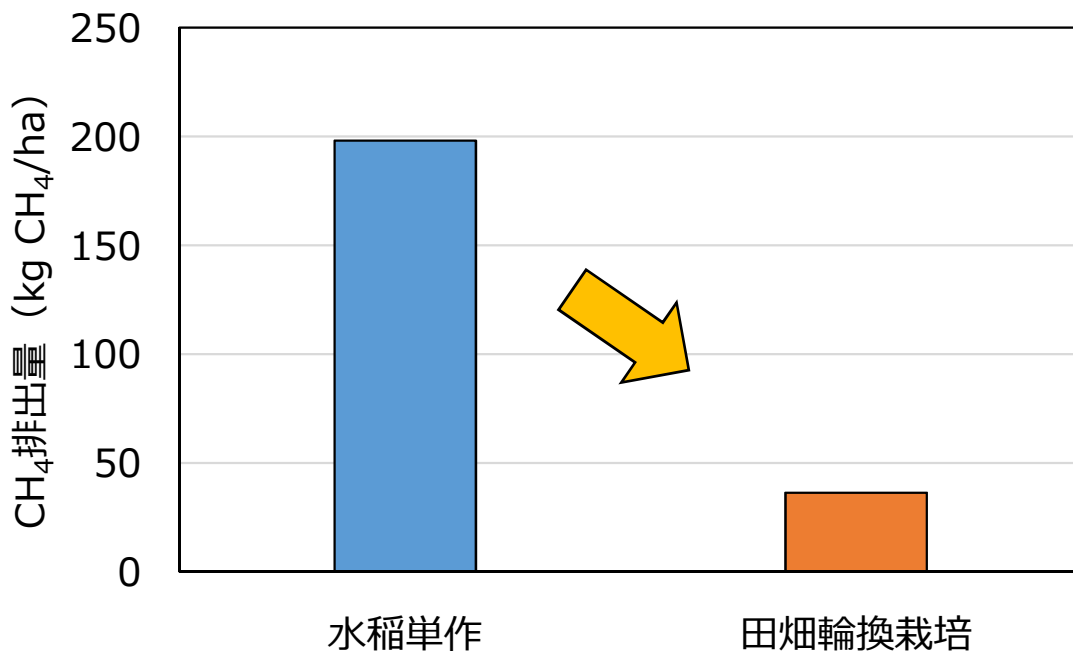
田畑輪換栽培でメタン排出量を減らす！

滋賀県の主要な栽培体系



滋賀県では、水田で水稲作を軸に、麦・大豆作を組み入れた3年4作の「**田畑輪換栽培**」が主要な栽培体系となっています。

田畑輪換栽培によるメタン排出削減効果

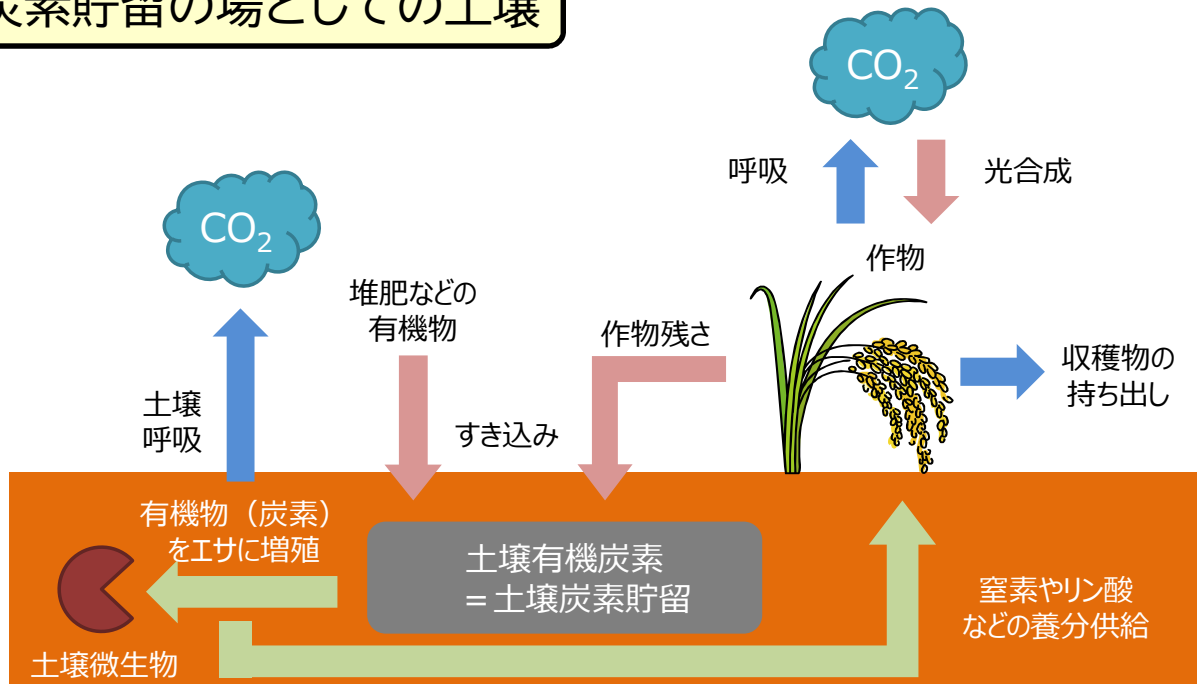


(Hasukawaら 2021)

3年4作の田畑輪換栽培を通して排出されるメタンは、水稲単作に比べて大きく削減されます。

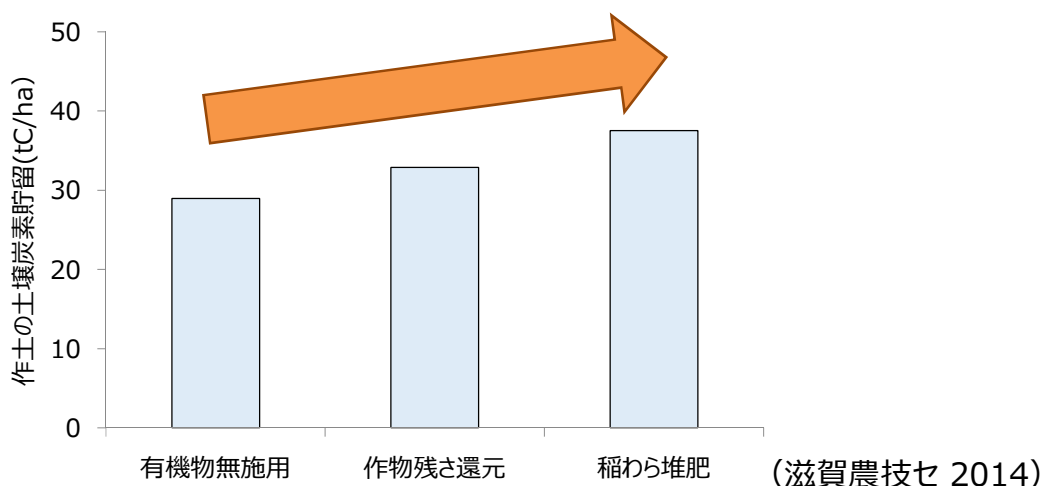
有機物投入により炭素貯留量を増やす！

炭素貯留の場としての土壌



土壌に投入された堆肥などの有機物や作物残さは、一部が微生物のエサとなり、分解されますが、残りは土壌に有機物（＝炭素）として貯留します。このように、土壌は温暖化緩和に重要な炭素貯留の場となります。

有機物の投入による土壌炭素貯留の増加

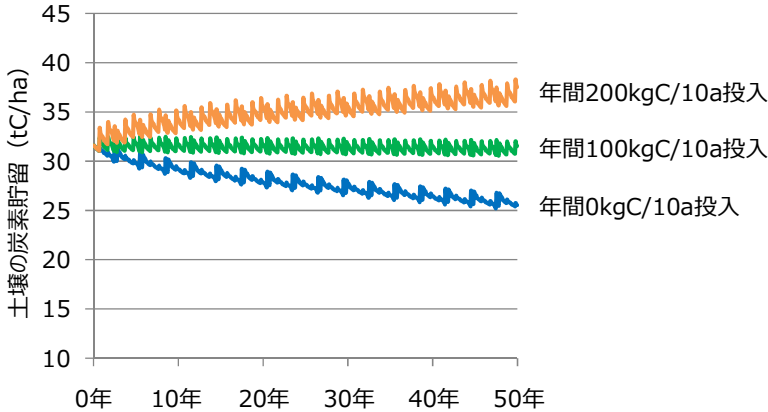


有機物を土壌に投入することで、土壌の炭素貯留は増加します。また、分解しにくい有機物を多く含む「堆肥」は、作物残さより高い炭素貯留効果を有しています。

将来的な炭素貯留を予測する

モデルの活用による将来予測

有機物を十分に投入していないと土壌の炭素は低下していきます。

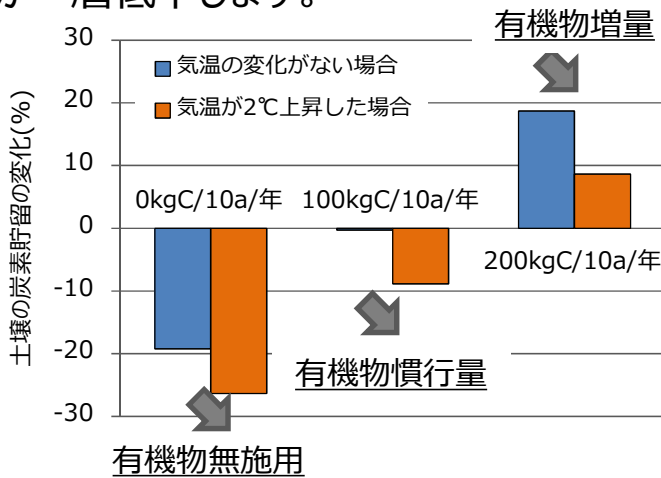


<事例>

水稻－水稻－麦・大豆の田畑輪換栽培で有機物（炭素）を投入していないと土壌の炭素貯留は低下していきますが、有機物を投入することで向上します。（滋賀農技セ 2018）

温暖化が進行するとどうなる？

温暖化が進行すると有機物（炭素）の分解が促進され、土壌の炭素貯留が一層低下します。



<事例>

水稻－水稻－麦・大豆の田畑輪換栽培で温暖化が進行した場合、気温の変化がない場合に比べて、土壌に炭素貯留しにくくなります。（滋賀農技セ 2018）

炭素貯留を増やすためには

土壌の炭素貯留を増やすためには、有機物を施用することが重要となります。分解しにくい有機物を多く含む「堆肥」は、炭素貯留を増やすのに効果的です。

☆モデルでの試算例（滋賀農技センター内土壌の場合）

3年4作の田畑輪換栽培において、土壌の炭素貯留を増やすためには、水稻収穫後に施用する「牛ふん堆肥」が、

0.5t/10a以上必要

温暖化が進行した場合
(気温2℃上昇)

0.7t/10a以上必要

(滋賀農技セ 2018)

肥料コスト低減技術(アルカリ資材、リン酸施用)

田畑輪換栽培におけるアルカリ資材の施用

田畑輪換(麦-大豆-水稻-水稻)におけるpHの維持・向上のためには一定量以上のアルカリ資材の施用が必要

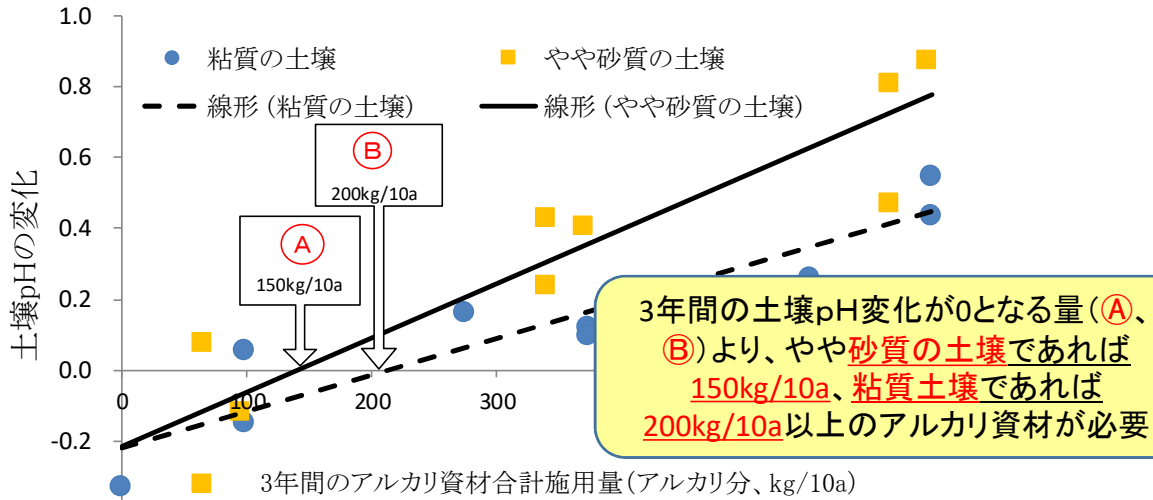


図 3年間(麦-大豆-水稻-水稻)のアルカリ資材合計施用量と土壌pHの変化 (滋賀農技セ 2017年)

労力軽減のため施用量を変えずに施用回数を減らすには？

	(水稻)	麦	大豆	水稻	水稻
各作施用の場合(計4回)	100	100	150	150	(kg/10a)
省力的施用(2回施用)の場合	300			200	

4作を通じてpHを高く維持可能

田畑輪換栽培におけるリン酸肥沃度維持のためのリン酸施用量

田畑輪換栽培体系でリン酸肥沃度を維持するためには、ほ場へのリン酸の出入り(収支)が均衡する20kg/10aを施用すればよい

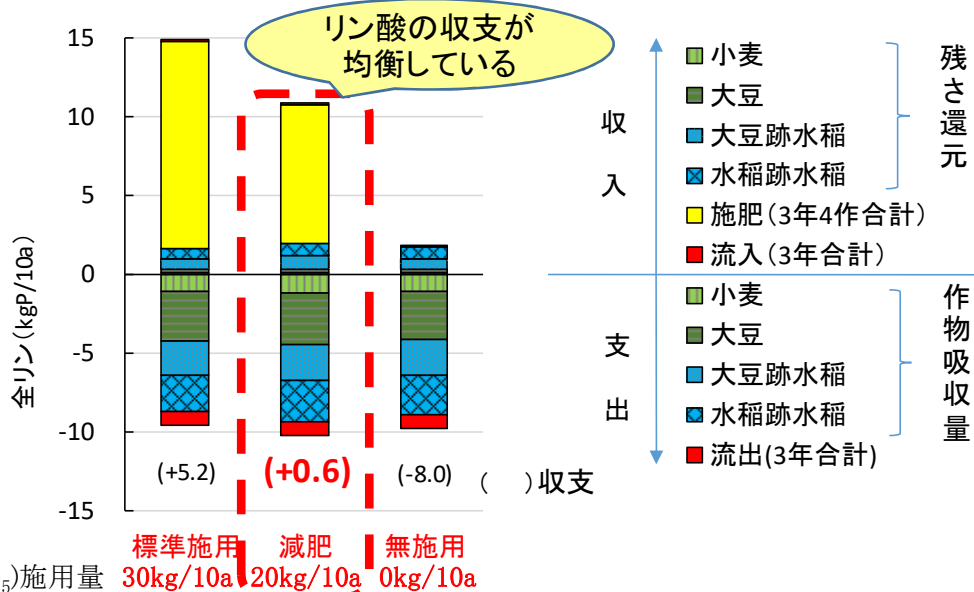


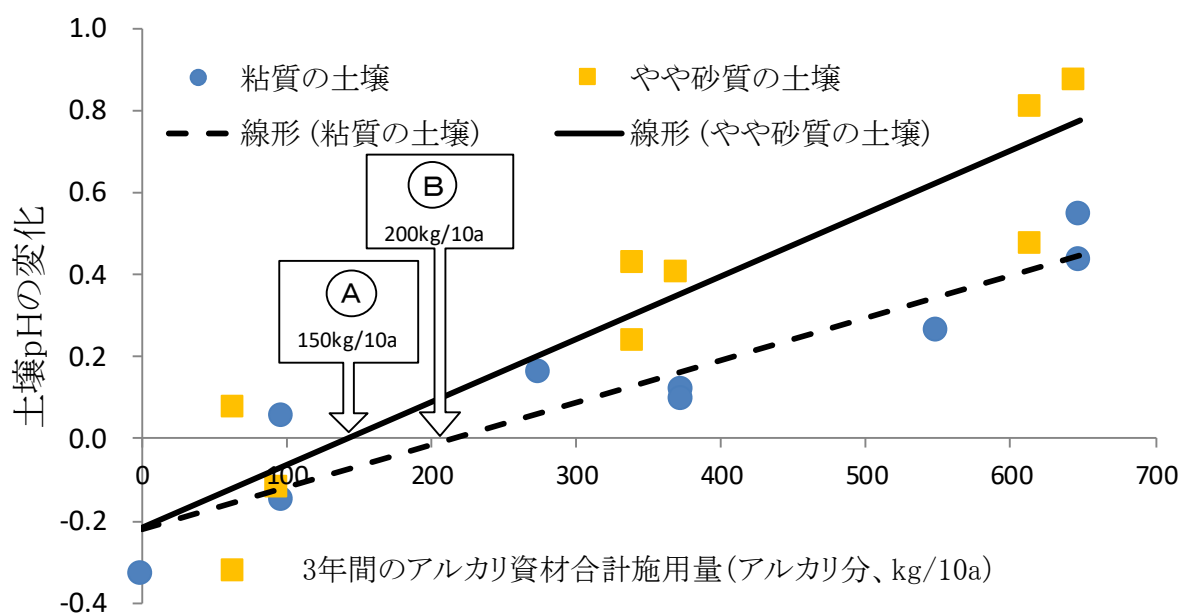
図 田畑輪換栽培体系(麦-大豆-水稻-水稻)におけるほ場へのリンの出入り(収支) (滋賀農技セ 2019年)

V 肥料コスト低減技術（アルカリ資材、リン酸の施用）

1 田畑輪換栽培におけるアルカリ資材の省力的施用

土壌pHを適切に維持することは、作物の生産性の維持・向上だけでなく、玄米カドミウム濃度の低減にも有効である。麦・大豆－水稲－水稲の3年4作体系の田畑輪換栽培の中でpHを維持向上させるためには、やや砂質の土壌（砂の割合が半分以上のほ場）では150kg/10a以上（炭酸苦土石灰現物量で約270kg/10a相当以上）、粘質の土壌（粘土の割合が多いほ場）では200kg/10a以上（同約360kg/10a相当以上）のアルカリ分を含む資材の施用が必要である（図V-1-1）。

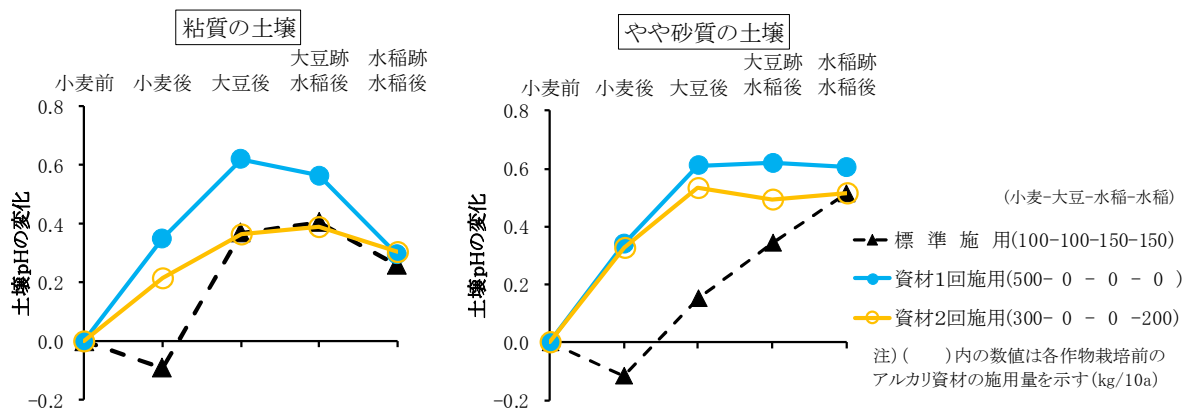
各作ごとにアルカリ資材を何度も施用することは労力がかかることから、労力軽減のため一回あたりのアルカリ資材の施用量を増やし、施用回数を減らすことも有効である（以下、「省力的施用」）。



図V-1-1 3年間のアルカリ資材合計施用量と土壌pHの変化
(滋賀農技セ 2017年)

注) 土壌pHの変化は、3年4作終了時の土壌pHの値から小麦栽培前の土壌pHの値を引いたもの。pHの維持・向上のためには、やや砂質の土壌ではⒶ150kg/10a以上、粘質の土壌ではⒷ200kg/10a以上の施用量が必要。

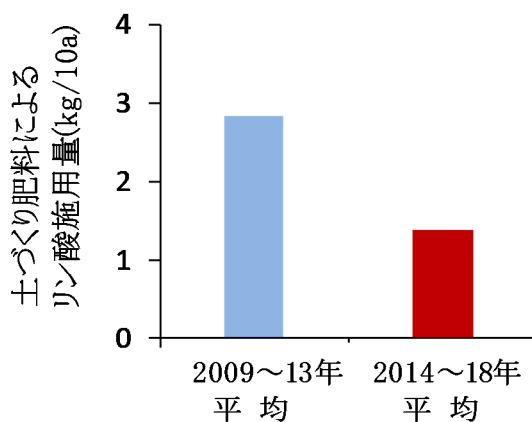
3年4作のアルカリ資材の標準的施用量（苦土石灰、ケイカル等の現物量で約500kg/10a）で考えると、省力的施用のタイミングとしては、小麦作前に1回のみ、あるいは小麦作前と水稲跡水稲作前の2回であれば、栽培体系を通じて土壌pHを高く維持でき、省力化を図ることができる（図V-1-2）。



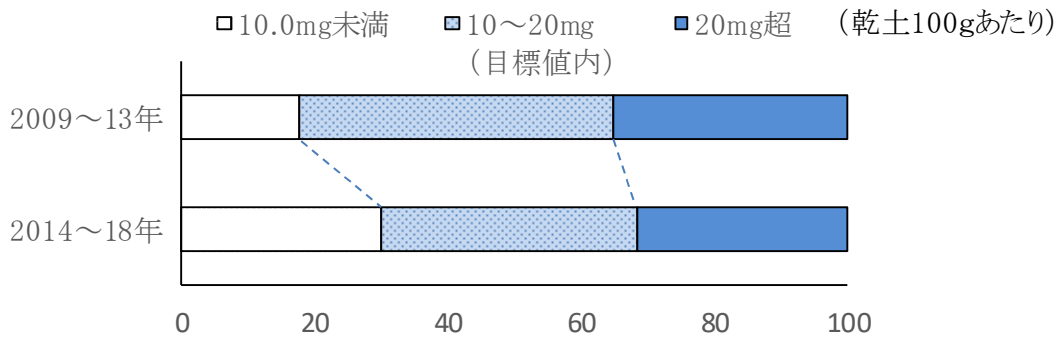
図V-1-2 アルカリ資材の施用のタイミングと土壌pH（滋賀農技セ 2018年）
注) 土壌pHの変化は、各時期のpHから小麦栽培前の土壌pHの値を引いたもの

2 田畑輪換栽培におけるリン酸肥沃度維持のための リン酸施用量

近年、リン酸を省略あるいは減量した施肥体系が一般化してきた。施肥や土壌分析等の調査を1979年から5年間で県内を一巡する形で行っているが、2009～2013年平均（調査7巡目）と比べて2014～2018年平均（同8巡目）では土づくり肥料として水稲栽培前に施用されるリン酸量が減少し（図V-2-1）、土壌可給態リン酸は改良目標値未満の割合が増えている等、低下の傾向にある。しかし、一方で、土壌改良目標値（10～20mg/100g）を大きく超え、リン酸減肥の可能なほ場は多い（図V-2-2）。

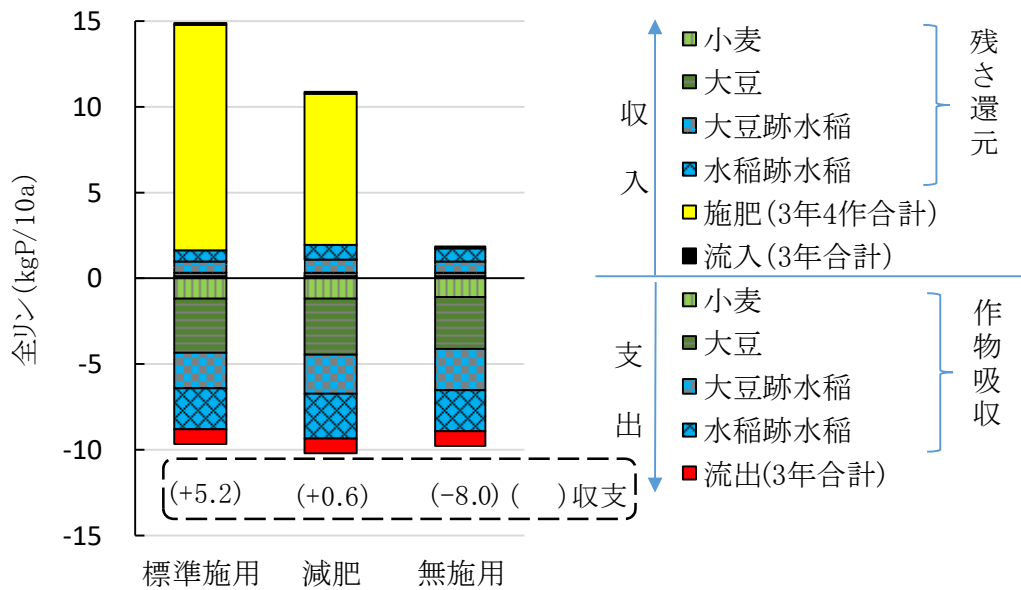


図V-2-1 県内水田における土づくり肥料のリン酸施用量（滋賀農技セ 2019年）
注) 1979年から5年間で県内を一巡する調査の7巡目（2009～2013年）、8巡目（2014～2018年）の調査結果。水稲栽培での施用量の平均値。（農家へのアンケート調査による）施用がない場合は0として算出。調査数は57地点。



図V-2-2 県内水田における土壌可給態リン酸含量の変化(滋賀農技セ 2019年)
注) 水稲栽培ほ場のみを集計。調査数は57地点。

これまで、リン酸を継続的に標準量施用し、土壌リン酸肥沃度が向上したほ場においては、リン酸を減肥しても少なくとも3年間では作物体のリン酸吸収量の低下は見られず、施肥量節減の可能性がある。また、麦・大豆ー水稲ー水稲の田畑輪換栽培において標準的なリン酸施肥量の合計は30kg/10aであるが、3年間の収支(ほ場へのリン酸の出入り)が均衡する約20kg/10aのリン酸施用で土壌リン酸肥沃度を維持できる(図V-2-3)。



図V-2-3 3年4作体系におけるリン収支(滋賀農技セ 2019年)

注) $P(\text{リン}) = P_2O_5(\text{リン酸}) / 2.29$ 。

流入量(降雨・雨水)と流出量(田面水、浸透水、暗渠排水)は過去の事例(H15、18、19主要成果、H14近中四新技術の慣行栽培区)の平均値。

※リン酸施肥(3年間合計、10aあたり) 標準施用: 30kg(Pとして13kg)、減肥: 20kg(Pとして9kg)