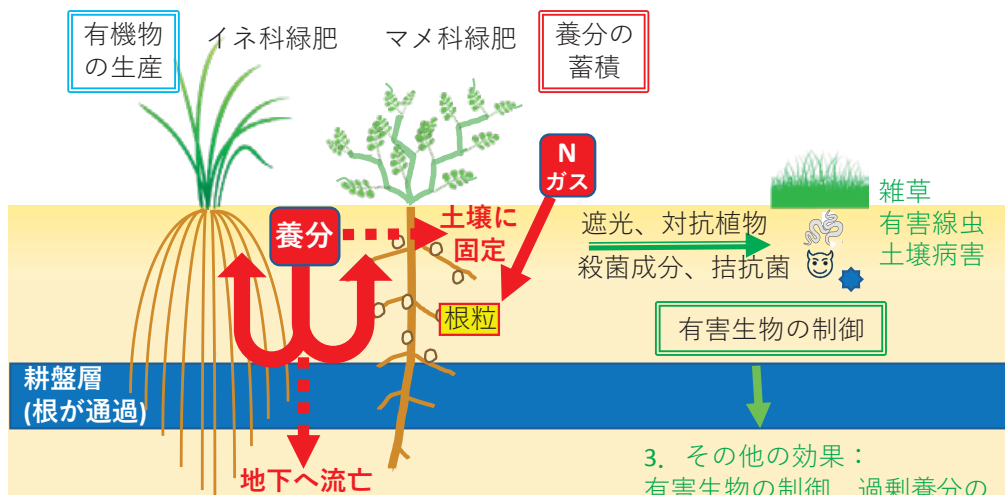


第2章 土づくり・減肥に役立つ緑肥の効果

栽培している作物を収穫せずにそのまま畑にすき込み次に栽培する作物の肥料にすること、またはそのために栽培する作物のことを緑肥と呼びます。近年、緑肥のもつ様々な効果が明らかになり、導入の拡大が期待されています。

本章では、まず、緑肥の導入が農地生態系の機能を高め、土壌のもつ作物の生産環境を改善する効果について、有機物施用による土づくり効果と減肥に役立つ養分補給効果に分けて紹介します（図 2-1）。土づくりの目的には、養分の補給も含まれていますが、本章では、両者を分けて記載しました。また、有機物の補給は、土壌微生物の増殖にもつながります。緑肥で増殖する土壌微生物のうち、養分吸収と関係があるものについては、減肥に役立つ効果のところで説明しています。また、緑肥のもつ土づくりや養分以外の効果として、雑草や有害線虫、土壌病害の制御が知られています。

緑肥栽培



1. 有機物の生産・補給は、土づくりに役立つ
2. 緑肥への養分の蓄積・補給が減肥に役立つとともに、有機物補給による有用生物の活性化も減肥に役立つ
3. 有害生物の制御効果も期待できる

* 下層土の改善や有用生物の活性化、有害生物の制御は、堆肥よりも緑肥の効果が大きいことが多い

主作物の栽培

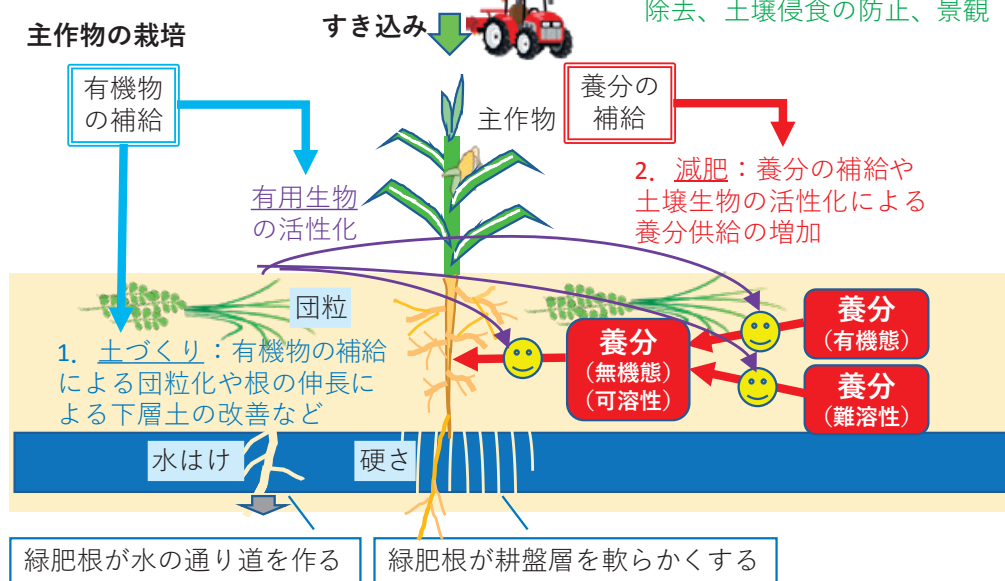
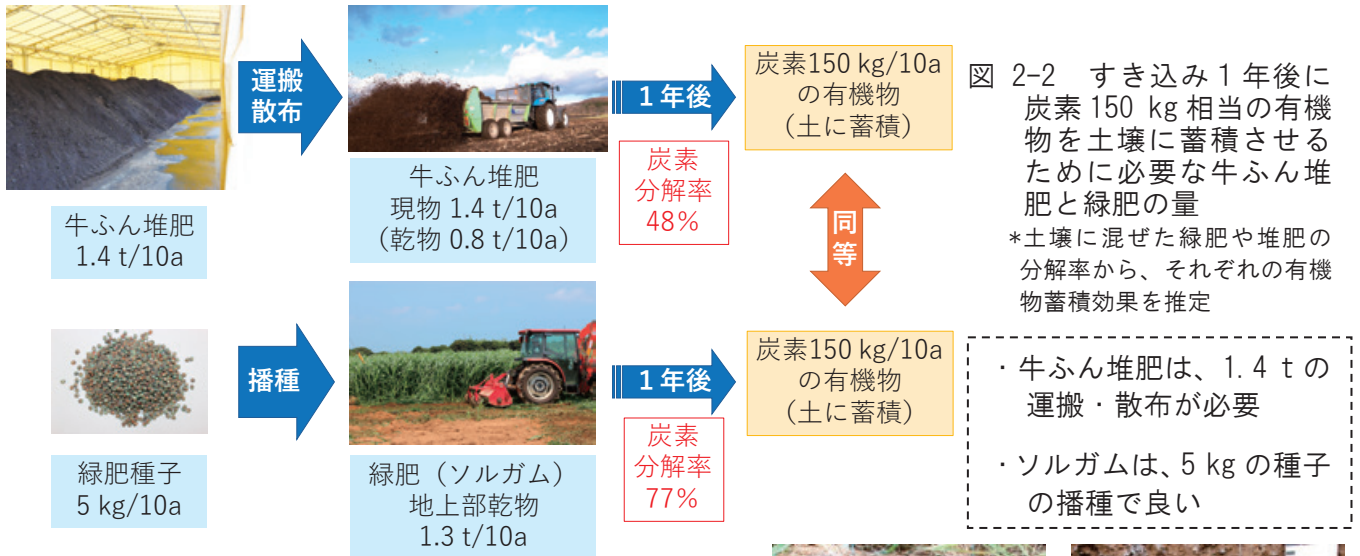


図 2-1 緑肥の様々な効果

2-1 土づくりに役立つ効果

<作土>

緑肥をすき込むことで、作土に多くの有機物が供給されます。緑肥は堆肥よりも分解しやすいですが、1年後に作土に残る有機物の量から考えると、例えば、草丈220 cm、地上部乾物重1.3 t/10aのソルガムなら、牛ふん堆肥1.4 t/10aをすき込んだのと同じ効果が期待できます（図2-2）。マメ科緑肥などはソルガムより分解しやすいため、土壌への有機物蓄積効果は少ない傾向にあります。また、一般にすき込みが遅くなると分解しにくくなり、肥料効果は小さく、有機物蓄積効果は大きくなります。



<下層土>

緑肥の根は、深さ100 cmくらいまで伸びることも多いため（写真2-1）、地上部がすき込まれる作土だけでなく、下層土にも影響を及ぼします。根が伸びる深さまで耕耘することは機械でも難しいので、通常は下層土を耕したり、有機物を下層に入れたりすることはありません。下層にまで伸びる緑肥の根には、機械による耕耘や堆肥施用ではできない深い土層の改良効果が期待できます。



写真 2-1 すき込み時のエンバクの根の分布
*左：0～110 cm、右：40～110 cm 深

2-1-1 団粒構造

緑肥をすき込むと、作土にたくさんの有機物が供給されます。有機物が増えると、団粒が形成され（図2-3）、作土が柔らかくなったり、作土の保水性や透水性が良好になったりするなど、土壌の物理性が改良されます。

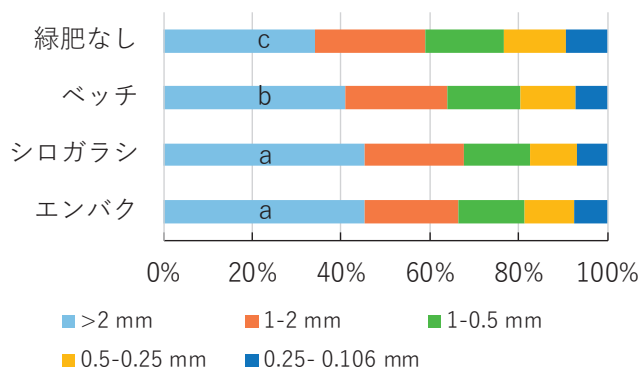


図 2-3 緑肥が土壌の粒径別団粒割合に与える効果
*ベッチはヘアリーベッチ

エンバク、シロガラシなどを連用すると、2 mm以上の大きな団粒の割合が増加（異なるアルファベット間には有意差あり）

2-1-2 土壌硬度

エンバクなどの緑肥の根は量が多く、深くまで伸びます。エンバクを栽培すると、耕盤と呼ばれる深さ15~30 cmの硬い層の緻密度が低くなっていました（図2-4上）。

次にコマツナを栽培すると、緑肥無作付区では耕盤よりも下層にあまり根が伸びなかったのに対し、耕盤が軟らかくなったエンバク作付後には、コマツナの根が耕盤層を越えて深くまで伸びました（図2-4下）。さらに、多量の有機物供給で軟らかく根が多い表層の土も厚くなり、広範囲から養水分を吸収できるようになったと考えられます。



深さ100 cmの穴を掘り、10 cm×10 cmのメッシュごとに、緻密度（mm、土の硬さ）とコマツナの根の数（本/区画）を調査
縦100 cmは深さ別に10等分し、横50 cmも同じ幅でA~Eの5つに分けて調査

エンバク作付						緑肥無作付					
緻密度	A	B	C	D	E	A	B	C	D	E	
0-10 cm 1	6	5	7	6	7	7	8	11	10	9	
10-20 cm 2	10	12	12	15	14	21	22	23	22	20	
20-30 cm 3	23	23	26	26	27	22	26	27	29	32	
30-40 cm 4	23	25	24	21	21	18	24	21	27	24	
40-50 cm 5	23	21	25	23	23	20	21	24	21	24	
50-60 cm 6	20	19	22	22	22	18	19	20	19	22	
60-70 cm 7	20	21	20	22	18	17	17	18	19	20	
70-80 cm 8	18	20	20	19	16	19	19	17	20	20	
80-90 cm 9	19	18	15	20	18	17	18	18	16	18	
90-100 cm 10	18	16	16	19	17	18	17	18	18	18	

コマツナ						緑肥無作付					
根の分布	A	B	C	D	E	A	B	C	D	E	
0-10 cm 1	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	
10-20 cm 2	200	200	200	200	200	40	32	32	37	37	
20-30 cm 3	66	63	53	75	60	38	12	31	35	14	
30-40 cm 4	13	22	13	13	16	23	7	10	14	1	
40-50 cm 5	20	21	6	5	6	8	1	13	10	0	
50-60 cm 6	9	14	36	22	6	8	0	4	6	0	
60-70 cm 7	6	6	20	9	8	3	0	7	10	0	
70-80 cm 8	0	0	4	8	9	3	0	4	8	0	
80-90 cm 9	0	0	0	0	4	1	0	2	2	0	
90-100 cm 10	0	0	0	0	1	1	0	1	2	0	

図2-4 エンバク作付で耕盤を改良した区と緑肥無作付区で栽培したコマツナほ場の土壌硬度とコマツナ根の分布（収穫時）

*赤色が濃いほど土が硬く、緑色が濃いほど根が多い

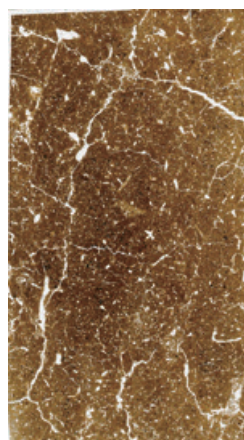
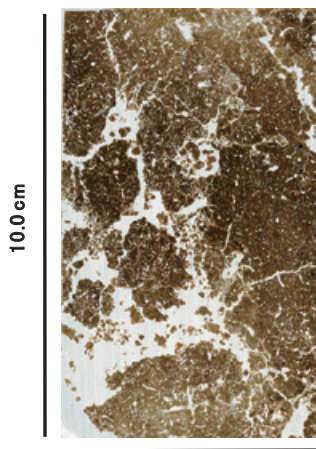
2-1-3 透水性

緑肥導入により、作土の団粒化が進んだほか、耕起深より深い層の土の構造も変化しました。構造を壊さないよう樹脂で固め、薄く切った土壌の薄片を観察すると、エンバク栽培後では、下層でも白く見える隙間が多く、土壌構造が発達していると考えられました（写真2-2）。

雨が降っても、この隙間を通して余分な水が流れることから、緑肥導入後は、透水性が良くなります（写真2-3）。

エンバク

緑肥なし



10.0 cm

6.0 cm

写真2-2

土壌薄片による
緑肥の効果の観察

*エンバク後と緑肥なし後の60-70 cm深の結果

*白い部分が隙間

2-1-4 保水性

緑肥導入による土壌有機物の増加や土壌構造の発達で、土壌の保水性が高まることも期待できます。また、耕盤層の改良により次の作物の根が深く伸びるため、乾燥害の対策としても有効です。



写真2-3 ヘアリーベッチ作付後（左）と緑肥作付なし後（右）におけるネギほ場の降雨後の様子

前作に緑肥を栽培しなかったほ場でうね間に水がたまっているのに対し、ヘアリーベッチを栽培したほ場では水がしみ込んでいる

2-2 減肥に役立つ効果

<供給される養分の特徴>

緑肥などの有機物をすき込むと、そこに含まれる養分が土壤に供給されます。緑肥中の窒素、リン酸、カリのバランスは、ヘアリーベッチなどマメ科では窒素とカリが高く、ソルガムなどイネ科ではカリが高い傾向にあります。一方、家畜ふん堆肥のうち、豚ふん堆肥や鶏ふん堆肥はリン酸が高く、牛ふん堆肥も有効な窒素に比べてリン酸とカリが高い傾向にあります（図2-5）。そこで、家畜ふん堆肥を施用するとリン酸やカリが窒素より多く投入されることとなります。このアンバランスは化学肥料でも調節できますが、窒素濃度が高いマメ科緑肥を組み合わせることで改善できます。家畜ふん堆肥の施用でリン酸が蓄積したほ場での有機物補給にも有効です。

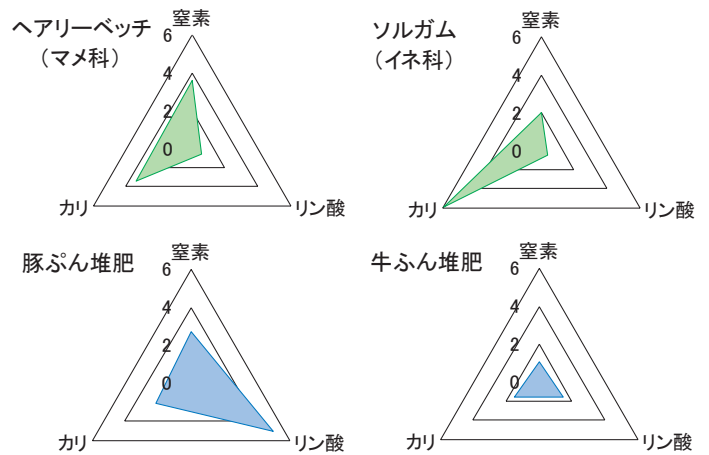


図 2-5 緑肥や家畜ふん堆肥に含まれる窒素、リン酸、カリ濃度（％）の一例

*家畜ふん堆肥の成分組成は、西尾道徳著、堆肥・有機質肥料の基礎知識より。緑肥の成分組成は、本プロジェクトで得られた結果の一例。緑肥の養分濃度は、作物の種類だけではなく、栽培環境、すき込み時期などによって変動する。

*本図は、全量を示している。牛ふん堆肥などでは、含まれるリン酸、カリに比べて、窒素の有効性が低い。

<養分供給のしくみ>

緑肥に含まれる養分は、マメ科の根粒の窒素固定に由来するものか、土壤から吸収されたものです。窒素固定の場合、田畑の外からの窒素が富化されることとなりますが、それ以外は、元々、土壤に含まれていた養分を吸収しただけのものです。それでも、マメ科以外の緑肥の導入も、次の作物の施肥削減につながることがあります。こうした緑肥の機能は、土壤中に含まれる養分を地下に流れる前に吸い上げて、作土に供給する働きで説明できる場合があります。また、すき込まれた有機物によって土壤中の微生物が増殖し、その中の有用微生物が次の作物への養分供給を増やすのに役立っていることもあります。

2-2-1 窒素

(1) マメ科による窒素固定

ほとんどの植物は、空気中の窒素ガスを利用できません。しかしながら、マメ科植物は、根に共生する根粒菌の働きで窒素ガスをアンモニアに変換し、養分として利用することができます（写真2-4）。このようにして緑肥に取り込まれた窒素は、土壤中で分解され、それを窒素源に次の作物を育てることができます。



写真 2-4 ヘアリーベッチの根についた根粒

(2) イネ科などによる溶脱窒素の回収と供給

野菜畑や堆肥を多く施用している畑では、作物収穫時にも土壤に多くの養分が残っています。このうち、特に硝酸態窒素は、雨が降ると地下深くに流れてしまい、次の作物が吸収できなくなってしまう（溶脱）。そこで、野菜などの収穫後に作付けのない期間がある場合、イネ科緑肥などを栽培して溶脱前に硝酸態窒素を吸い上げ、それを作土に戻すことで作物に再供給できます。そのため、緑肥導入は減肥や地下水の硝酸汚染低減にも役立ちます。

2-2-2 カリ

(1) イネ科などによる溶脱カリの回収と供給

イネ科の緑肥などを栽培すると、作土中の交換性カリが高くなることがあります。緑肥を作らなかった区とエンバクを栽培してすき込んだ区で、土壌の交換性カリを深さ別に調べると、エンバク後では、下層のカリが減り、表層のカリが増えています（図 2-6）。

カリも、雨が降ると下層に流れ、作物が利用できなくなります。そこで、エンバクなどを導入することによって、溶脱する前にカリを吸い上げ、作土に戻すことなどで、作土の交換性カリを高く維持できます。これにより、後作物のカリが減肥できると考えられます。

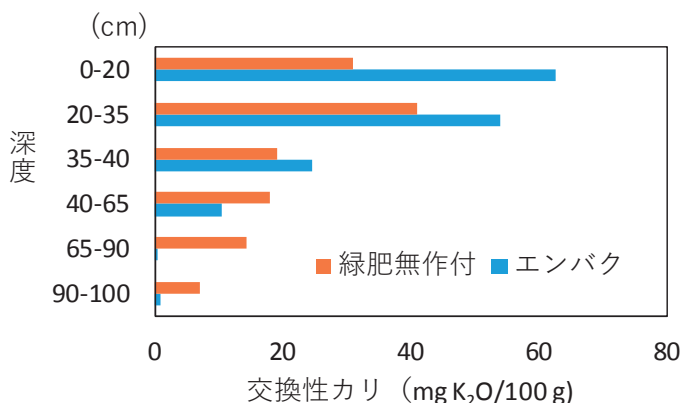


図 2-6 緑肥無作付区とエンバク区における深さ別の交換性カリ（すき込み 4 週間後）

エンバク区では、下層の交換性カリが減り、表層の交換性カリが増加

2-2-3 リン酸

(1) 植物のリン酸吸収メカニズム

作物の中には、難溶性リン酸を溶かしたり、有機態リン酸を無機化したりして、利用しにくい形態のリン酸を吸収するものが知られています。例えば、ルーピンは有機酸や酵素を根から放出することで、難溶性や有機態のリン酸を吸収することができます。一方、ソルガムやエンバクなど、乾物生産能が高い緑肥は、より多くのリン酸を吸収し、すき込むことで、後作物が利用できます（図 2-7）。

(2) 緑肥のリン酸源としての効果

リン酸は溶脱しにくいいため、それを吸い上げて作土に戻すことによるリン酸供給の効果はあまり期待できません。しかしながら、リン酸肥沃度が低い畑であっても、緑肥の種類を選べば 10a あたり 4 kg 程度のリン酸をすき込むことができます（図 2-7）。これは、多くの作物の標準的なリン酸施肥量よりは低い水準ですが、多くの作物が吸収するリン酸の量に匹敵するため、減肥に結びつく可能性があります。

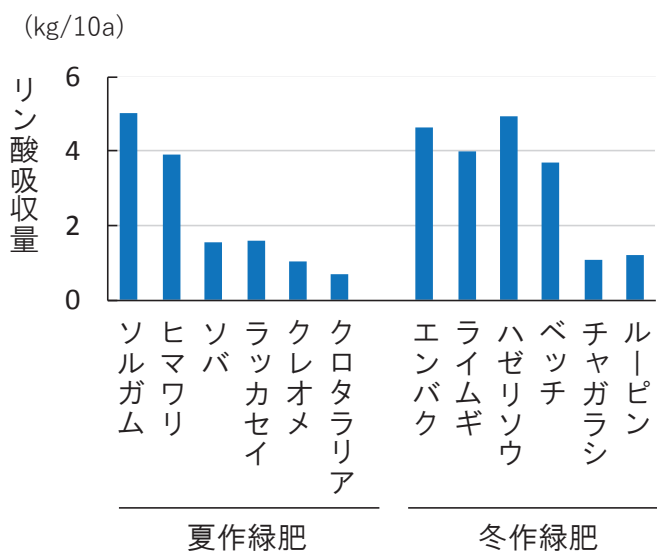


図 2-7 リン酸肥沃度が低い土壌で栽培した各種緑肥のリン酸吸収量

*ベツチはヘアリーベッチ

2-2-4 保肥力

(1) 有機物の供給による陽イオン交換容量（CEC）の増大

陽イオン交換容量（CEC）は、一定量の土が保持できる陽イオンの量で、カルシウム、マグネシウム、カリウム、アンモニウムなどの陽イオン（養分）を保持する能力の指標です。有機物を供給すると、CECが増えることが知られています。緑肥の導入を続けることによって施用した肥料が徐々に畑に保持されやすくなり、結果として肥料の利用率が高まることが考えられます。

2-2-5 有用微生物の働きによる養分供給

緑肥のすき込みにより有機物が供給され、土壌微生物が増殖、活性化します。その結果、以下のような養分供給の促進が期待されます。

(1) 緑肥などからの窒素・リンの無機化

緑肥中の窒素やリンには有機態のものが多く、作物の多くはそれを直接利用できません。通常、すき込み後に土壌微生物により分解され、無機態になってから作物に吸収されます。つまり、緑肥中の養分を作物が利用するには、土壌微生物の働きが欠かせません。

緑肥をすき込むと、有機態リンを無機化するホスファターゼを始めとする様々な土壌酵素の活性が高まります（図2-8）。これにより、緑肥や土壌に含まれる有機態の養分が分解され、作物に利用されます。

(2) 土壌に固定されたリン酸の可溶化

緑肥のすき込みで増殖する微生物の中に、有機酸を放出し、土壌中の難溶性リン酸を溶解できる微生物（リン溶解菌）がいることが分かりました（写真2-5）。緑肥のすき込みによりリン溶解菌が増えると、土壌に固定されている難溶性リン酸が溶け、次の作物に利用されやすくなる可能性があります。

(3) バイオマス窒素・リン

緑肥すき込みで土壌微生物が増えると、その体内に窒素・リンが蓄えられます。これらがバイオマス窒素・リンで、養分のプールとして作物の養分吸収に有利に働きます。

バイオマスリンが増えるとキャベツのリン酸吸収も増えたことから、緑肥で増えたバイオマスリンは後作物に吸収されると考えられます（図2-9）。無機態リン酸は土壌に速やかに固定されるので、バイオマスリンから徐々に放出されるリン酸は効率の良い養分といえます。

窒素についても、硝酸態など速効性で溶脱しやすい窒素が使われた後、バイオマスから徐々に供給される窒素が作物生育を支えてくれます。

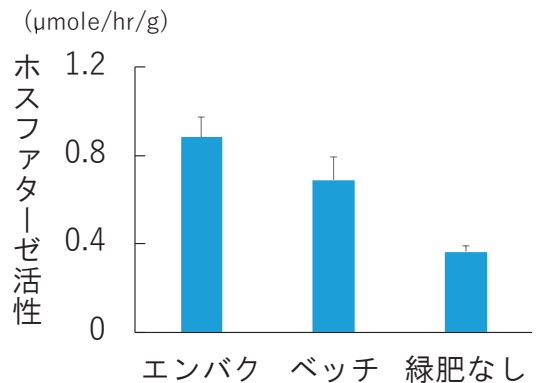


図2-8 緑肥のすき込みが土壌のホスファターゼ活性に及ぼす影響
*ベッチはヘアリーベッチ

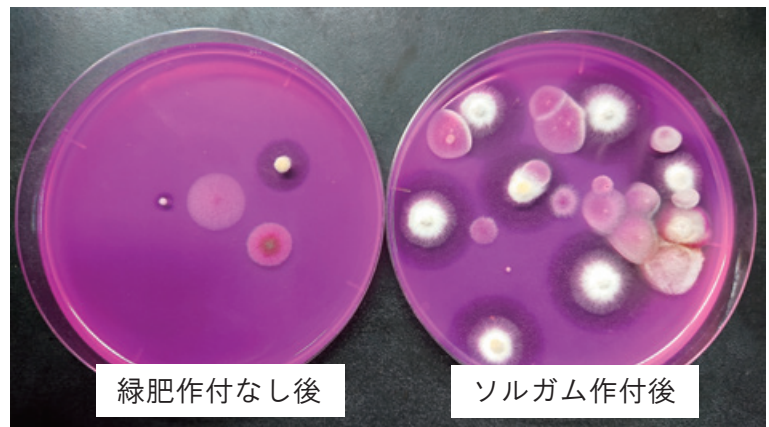


写真2-5 緑肥のすき込みが土壌のリン溶解糸状菌数に及ぼす影響
周りが黒に見えるコロニーは、周囲のリン酸カルシウムの沈殿を溶かしたリン溶解菌であり（周囲の沈殿が透明になり、下の机の黒色が見える）、周りが黒くなっていないものは、リン酸カルシウムを溶解していない糸状菌

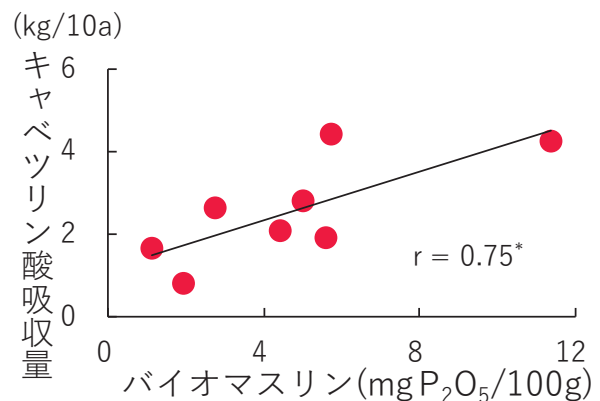


図2-9 土壌のバイオマスリンとキャベツのリン酸吸収量との関係
*は、バイオマスリンとキャベツのリン酸吸収量の間に関連関係があることを示す

(4) 共生菌（菌根菌）

菌根菌は多くの作物の根に共生し、そのリン酸吸収を助けるカビの仲間です。その生存には共生相手が必要で、宿主を見つけられないと減少します。一部の作物は菌根菌と共生しない（非宿主）ため、畑を裸地にしたり非宿主を栽培したりすると減っていきます。一方、宿主の栽培で増殖し、後作物の感染が増え、リン酸吸収や生育が改善します。アブラナ科を除き、緑肥作物の多くに土着菌根菌を増やす効果があります。

緑肥で増えた(1)～(4)のような微生物の働きが作物の養分獲得を助けています（図 2-10）。

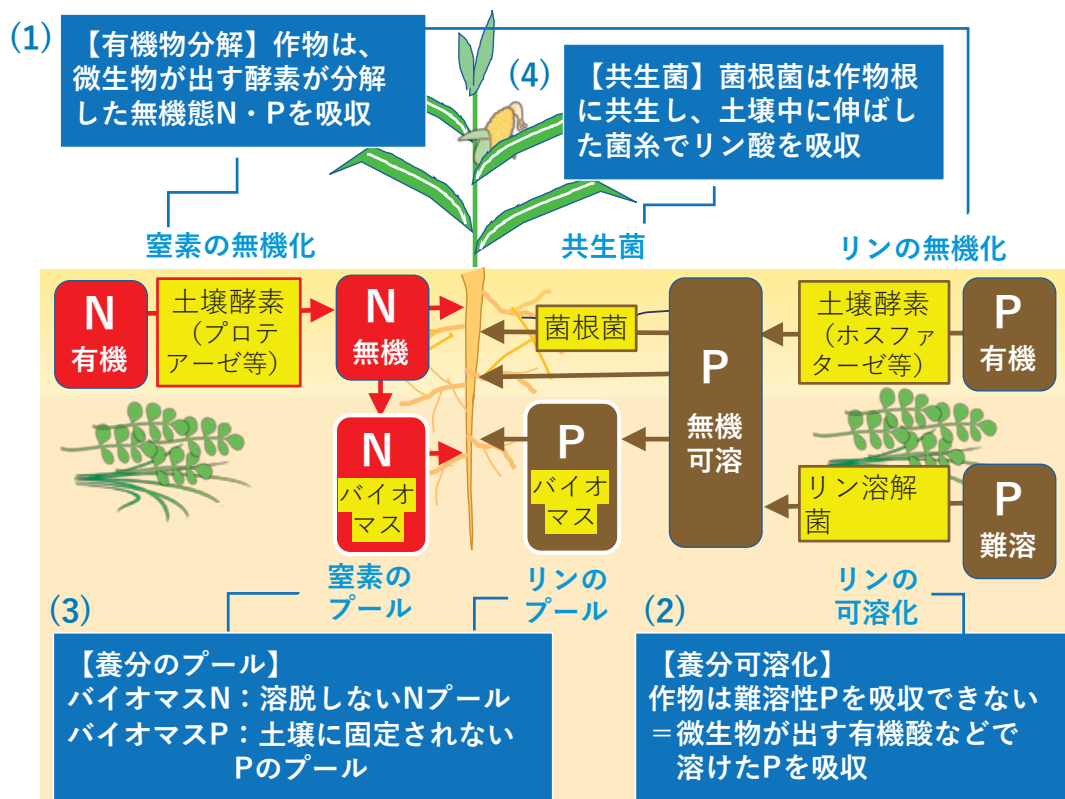


図 2-10 作物の養分吸収に重要な土壌微生物とその働き

2-3 その他の効果

2-3-1 有害生物の抑制

(1) 土壌病害

緑肥導入は輪作作物の種類を増やすため、土壌病害の軽減につながります。また、アブラナ科の緑肥などの中には、土壌にすき込むことで抗菌成分が発生し、土壌病害を抑制するものも知られています。

(2) 有害線虫

緑肥の中には有害線虫を抑制するものも知られています。そのメカニズムは様々で、殺線虫物質を作るもの（マリーゴールドなど）、根に線虫を侵入させ、そこで生育を止めるもの（エンバクなど）およびシスト線虫を孵化させるものの、栄養源とはならずには餓死させるもの（アカクローバなど）などがあります。

(3) 雑草

生育が比較的早い緑肥を栽培し、その茎葉で地面を覆って光を遮ることで、雑草種子の発芽や雑草の生育が抑制されます。愛知県の事例では、ソルガム導入区の雑草発生量は裸地区のわずか 0.4%でした。緑肥を刈り倒して、すぐにすき込まずに表面に敷いておくことにより、雑草の発生を抑える管理をしている人もいます。

2-3-2 クリーニングクロープ

(1) ハウスの土壌の塩類除去

長年使ったハウスでは、作物が吸い残した肥料成分が塩類として土壌に蓄積して EC（電気伝導度）や塩基飽和度が高くなりすぎるなど、問題となっていることがあります。このようなハウスにソルガムなどを栽培して過剰な塩類を吸収させ、生育した緑肥をハウスの外に搬出することで土壌に集積した塩類を持ち出すことができます。このような緑肥はクリーニングクロープと呼ばれています。

2-3-3 土壌侵食の防止

(1) 風食の防止

土壌を裸地で管理していると土壌が乾燥し、風が強い時期には、肥沃にしてきた表土が、風で飛散してしまいます。緑肥を栽培することで、作物の栽培にとって大切な作土を守るとともに、住宅地などへの土ぼこりの害を防ぐことができます。

(2) 水食の防止

降雨による土壌流亡によっても、表土が流亡します。また、田畑から流れ出した土壌は海を濁らせるなどの被害をもたらします。梅雨など雨が多い時期に緑肥を栽培しておくことで、土壌侵食を防ぐことができます。

2-3-4 景観の美化

(1) 景観緑肥

きれいな花をつける景観緑肥は各地で栽培され、農村の景観を美化したり、観光客を集めたりするのに、役立っています。