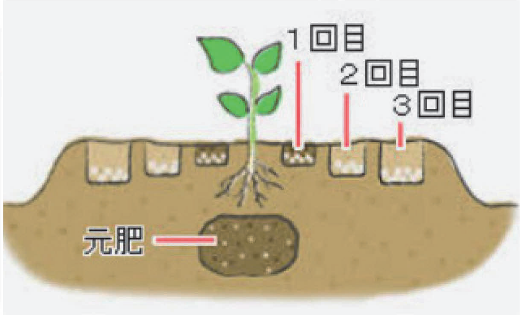
JRA
日本中央競馬会
特別振興資金助成事業

指定混合肥料の連用による土壌地力増強効果と利用技術に関する手引き



令和８年３月

LEIO
Livestock Industry's Environmental Improvement Organization

一般財団法人　畜産環境整備機構

はじめに

令和２年 12 月から施行された「肥料の品質の確保等に関する法律」において「指定混合肥料」が新設され、届出のみで製造・販売できるようになりました。牛ふん堆肥の利用をさらに拡大する狙いで新設されました。

指定混合肥料とは、すでに登録されている肥料（普通肥料や特殊肥料）や土壌改良資材を配合させて生産される肥料です。本事業では、③特殊肥料入り指定混合肥料、④土壌改良資材入り指定混合肥料の２種類を対象としました。令和５年度の農水省の統計によりますと、両肥料の生産量は③の肥料が 22,441 トン、④の肥料が 3,537 トンとなっています。

指定混合肥料は新しい肥料のため、肥効特性（窒素の供給特性や窒素、リン酸、カリの肥効率等）に基づく適正利用に関する情報が不足しております。指定混合肥料の肥効特性、とくに窒素肥効に関するデータを整備することは利用・普及拡大を図る上から極めて重要です。加えて土壌の地力増強には牛ふん堆肥の利用が欠かせないとされますが、牛ふん堆肥を混合した指定混合肥料をどのように利用すれば土壌地力が増強されるか、データも少なく不明な点が多い状況にあります。

畜産環境整備機構では日本中央競馬会から助成を受け、令和５年度から７年度までの３年間、「指定混合肥料による地力増強技術普及事業」に取組みました。その検討内容は、(1)指定混合肥料の窒素、リン酸、カリの肥効特性を明らかにする、(2)窒素無機化特性値と地温変化に基づいて窒素無機化量を経時的に予測・みえる化する、(3)野菜栽培において指定混合肥料の連用を行い、土壌地力の維持・増強効果を明らかにする、(4)最終年度に事業の成果をとりまとめ、行政指導普及機関、関係生産団体等の幅広い対象者に成果を公表するとともに、成果冊子を作成して関係者に配布し、一層の利用拡大と普及を図ることに取り組んでおります。

本手引き書では、指定混合肥料の連用に伴う土壌地力の維持・効果、指定混合肥料の肥料効果（窒素、リン酸、カリの肥効率など）の特徴、窒素無機化量の予測及びみえる化などをとりまとめました。また、新たに技術開発して得られた知見を４つの成果としてとりまとめました。

本手引き書が堆肥の生産・販売に携わっておられる畜産関係者、行政機関の皆様、さらに堆肥を利用されている耕種農家の皆様方の一助となり、家畜ふん堆肥の一層の利用促進に貢献できれば幸いです。

本報告書の刊行にあたって、事業期間を通じて適切なご指導を頂いた推進委員ならびに関係各位の皆様に厚く御礼を申し上げます。

令和８年３月

一般財団法人畜産環境整備機構

目　　次

１．はじめに
２．本手引きの目的・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 1
３．関係法令とその動向・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 2

４．得られた成果の紹介
【成果１】指定混合肥料の窒素、リン酸、カリの肥効特性　　・・・・・・ 3
【成果２】指定混合肥料の窒素肥効の予測とみえる化　　・・・・・・・ 6
【成果３】指定混合肥料の連用による土壌地力の維持増強効果　・・・・・・ 9
【成果４】土壌地力の維持増強に伴う野菜の生育・収量反応　　・・・・・12

５．指定混合肥料の連用による土壌地力の維持増強効果の実証・・・・・・・・15
１）供試した指定混合肥料、土壌、作物について　・・・・・・・・・・・・15
２）ポット栽培の連用計画と施肥設計について・・・・・・・・・・・・・・19
３）野菜と土壌の調査方法及び土壌地力の維持増強効果の評価方法・・・・・21
４）肥料の連用に伴う野菜の生育、収量等の推移・・・・・・・・・・・・・22
５）土壌地力の化学性要因の推移と増強効果の実証・・・・・・・・・・・・32
６）まとめ　・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・41
６．指定混合肥料の窒素肥効特性について・・・・・・・・・・・・・・・・・43
１）収集した市販の指定混合肥料について・・・・・・・・・・・・・・・・43
２）温度３段階による培養試験の方法と結果・・・・・・・・・・・・・・・49
３）窒素無機化特性値の求め方と結果　・・・・・・・・・・・・・・・・・54
４）窒素無機化特性値から推定した窒素無機化率　・・・・・・・・・・・・57
５）窒素肥効からみたグループ分けと肥効の特徴　・・・・・・・・・・・・57
６）検討した肥料以外の窒素無機化率を推定するための方法　・・・・・・・59
７）まとめ　・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・61
７．指定混合肥料のリン酸とカリの肥効特性　　・・・・・・・・・・・・・・61
１）リン酸とカリの肥効率の求め方・・・・・・・・・・・・・・・・・・・61
２）リン酸とカリの推定肥効率の結果・・・・・・・・・・・・・・・・・・62
３）指定混合肥料の窒素、リン酸、カリの肥効特性のまとめ　・・・・・・・63
８．指定混合肥料の窒素無機化量の予測・みえる化・・・・・・・・・・・・・65
１）窒素無機化特性値と地温に基づく窒素無機化量の予測・みえる化　・・・65
２）地温条件の異なる国内６地域での窒素無機化量の予測・みえる化　・・・67
３）まとめ　・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・72
９．指定混合肥料からの窒素無機化量の検証　・・・・・・・・・・・・・・・72
１）窒素無機化量の検証の方法　・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・72
２）窒素無機化量の検証結果　・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・73
３）まとめ　・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・80

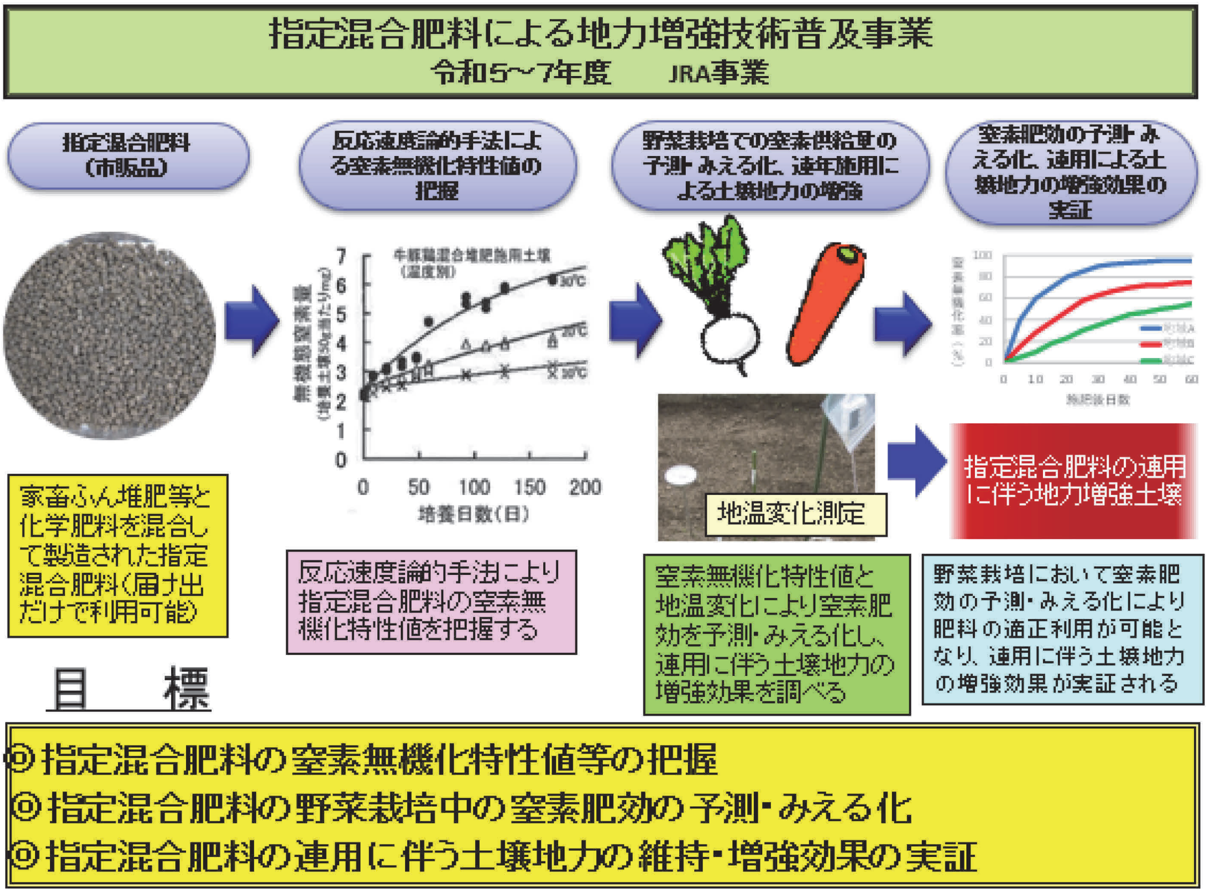
２．本手引きの目的

農林水産省が公表している普通肥料の種類別生産量（暦年）によりますと、混合堆肥複合肥料の生産量は、令和３年度が 9,845 トン、令和４年度が 12,578 トン、令和５年度が 17,218 トンと着実に増えております。届け出だけで生産・販売できる指定混合肥料（堆肥を混合した肥料）の生産量は令和３年度が 1,993 トン、令和４年度が 10,658 トン、令和５年度が 22,441 トンと急激な伸びを示しております。

本手引き書では、指定混合肥料の連用に伴う土壌地力の維持・効果、指定混合肥料の肥料効果（窒素、リン酸、カリの肥効率など）の特徴、窒素無機化量の予測及びみえる化などをとりまとめました。また、新たに技術開発した知見を４つの成果としてとりまとめました。

本手引きが堆肥の生産・販売に携わっておられる畜産関係者、行政機関の皆様方、さらに堆肥を利用されている耕種農家の皆様方の一助となり、家畜ふん堆肥の一層の利用促進や有機農業の拡大・推進に貢献できることを願っております。

本報告書の刊行にあたり、事業期間を通して適切なご指導を頂いた事業推進委員ならびに関係各位の皆様に厚く御礼を申し上げます。なお、下記に事業全体の概要を知っていただくためにポンチ絵を掲載しました。



３．関係法令とその動向

平成24年9月に肥料取締法が改正され、特殊肥料である堆肥と普通肥料の混用の規制が解除されて新しい肥料「混合堆肥複合肥料」の製造・販売が可能となりました。この混合堆肥複合肥料には堆肥施用による土壌の地力維持と普通肥料による施肥作業が一度にできることから、農業者の高年齢化に伴う施肥作業の軽減化に役立つことが期待されています。

令和2年12月から施行された「肥料の品質の確保等に関する法律」では化学肥料と堆肥を混合した「指定混合肥料」が新設され、届出のみで製造・販売できるようになりました。指定混合肥料の生産量は令和3年度が1,993トン、令和4年度が10,658トン、令和5年度が22,441トンと急激な伸びを示しております。堆肥を混合した肥料の生産拡大に伴って堆肥のニーズが高まることも予想されます。今後肥料メーカーが求める品質の堆肥生産も重要になってくると考えられます。

また、令和3年5月に公表された「みどりの食料システム戦略」においては、化学肥料の使用量3割削減、有機農業の推進、堆肥等の有機資源を活用した施肥体系の確立と現場実証や取り組みの拡大、土づくりと地力維持等が打ち出されております。

さらに、令和6年6月に「食料・農業・農村基本法」が改正され、環境への負荷低減のため肥料の適正使用、堆肥等の有効利用による地力の増進等に必要な施策を講ずることが打ち出されています。

加えて令和7年4月には「家畜排せつ物の利用の促進を図るための基本方針」が改定され、堆肥の適切な生産、円滑な流通・広域流通、エネルギー利用などが求められています。最近では、化学肥料や資材価格の高騰を受けて、農業現場では堆肥の代替利用の促進や土壌診断に基づく化学肥料の削減等施肥に関するコスト削減の動きが活発になっています。最近は肥料を巡る情勢はめまぐるしく変化していますので、その動向に注視しておく必要があります。

【成果１】指定混合肥料の窒素、リン酸、カリの肥効特性

指定混合肥料 20 点について温度別の培養試験を行い、結果を反応速度論的解析にて窒素無機化特性値を求めました。その特性値から 25℃30 日と 90 日後の窒素無機化率を算出し、窒素肥効を４グループに分類しました。また肥料の全窒素とアンモニア態窒素から窒素無機化率を推定する重回帰式を求めました。さらにリン酸、カリの肥効率をく溶率から推定したところ、肥料間に差は認められませんでした。

１）試験内容

市販の指定混合肥料 20 点を収集し、温度別（10℃、20℃、30℃）の培養試験を行い、窒素の無機化量を測定しました。得られた窒素無機化量を反応速度論的解析ソフトで解析して窒素無機化特性値を求めました。その特性値を用いて 25℃に 30 日と 90 日後の窒素無機化率を計算し、窒素肥効を４つのグループに分類しました。窒素無機化率を分析値や保証表情報（全窒素とアンモニア態窒素）から推定できる回帰分析について検討しました。また、く溶性画分の分析結果から肥料のリン酸、カリの肥効率を推定しました。

２）試験結果

（１）培養試験の結果を解析して求めた窒素無機化特性値を用いて 25℃における 30 日と 90 日の窒素無機化率（窒素肥効率）を推定しました（表１）。20 銘柄の窒素無機化率は７％から 100％まで広範囲に分布しており、窒素無機化率の差をもたらす要因としては、含まれている家畜ふん堆肥、土壌改良資材、化学肥料の種類や混合割合が肥料銘柄によっていろいろ異なるためと考えられます。なお、窒素無機化特性値については成果２の表１に例示しました。ご参照下さい。

（２）窒素無機化率のグループ分けを検討した結果、４グループに分けられました（表２）。そこで、各グループに属す肥料の資材の種類や混合割合と窒素無機化率の関係を検討し、結果を表３に示しました。なお、図１にグループ分けのフローチャートを示しました。Ｇ１は化学肥料の割合が高く、全窒素やアンモニア態も最も高いが ADSON 値は低く、窒素無機化率が 90%以上と最も高いグループ。Ｇ２はＧ１に比べて堆肥の割合が高く、Ｇ１より全窒素やアンモニア態は低いが ADSON 値は高く、窒素無機化率が 60～90％の範囲にあるグループ。Ｇ３は堆肥と土壌改良資材の割合が高く、全窒素やアンモニア態及び ADSON 値がＧ２より低く、窒素無機化率が 30～60％の範囲にあるグループ。Ｇ４は堆肥と土壌改良資材からなり、Ｇ３より堆肥の割合が高く全窒素やアンモニア態濃度及び ADSON 値が最も低く、窒素無機化率が 30%以下のグループです。

（３）検討した肥料以外の窒素無機化率を知るためには、窒素無機化率の目安が簡易に推定できる方法が必要です。そこで、窒素無機化率を保証表の数値から推定できる回帰分析について検討しました。その結果、窒素無機化率はアンモニア態窒素及び有機態窒素（全窒素からアンモニア態窒素を差し引いた値）と相関関係にあり、次の重回

帰式から簡単に計算できます（図２）。

30 日の窒素無機化率(%)=6.2×アンモニア態(%)＋9.5×有機態窒素(%)+4.9 (R^2=0.913)

90 日の窒素無機化率(%)=6.3×アンモニア態(%)＋10.9×有機態窒素(%)+6.9 (R^2=0.900)

（４）肥料のリン酸、カリの肥効率について、く溶性が全量に占める割合、すなわちく溶率の結果から推定しました。リン酸の肥効率は 90%～77%、平均 86%、カリの肥効率は 98%～79%、平均 93%と、20 銘柄の肥料間に差はみられませんでした（表１）。

（５）詳細なデータは 43 ページ以降に示しました。そちらを参照下さい。

表１　20 銘柄肥料の窒素無機化特性値から推定した 25℃における 30 日と 90 日後の推定窒素無機化率及びく溶率から求めたリン酸、カリの推定肥効率

窒素肥効によるグループ	肥料銘柄	推定肥効率(%)			
		窒素		リン酸	カリ
		30日	90日		
G1	指定混合肥料A	100	100	88	95
	指定混合肥料B	99	100	83	90
	指定混合肥料C	94	99	90	90
	指定混合肥料D	94	98	87	89
	指定混合肥料E	91	97	88	90
	指定混合肥料F	84	94	90	95
	指定混合肥料G	87	93	88	98
G2	指定混合肥料H	79	84	88	98
	指定混合肥料I	60	72	87	98
	牛CN23混合肥料	64	72	77	98
	牛CN20混合肥料	55	67	77	98
	牛CN11混合肥料	54	66	77	98
G3	指定混合肥料J	52	60	87	90
	指定混合肥料K	52	58	89	79
	指定混合肥料L	31	32	89	91
	指定混合肥料M	28	31	90	89
G4	指定混合肥料N	25	26	88	92
	指定混合肥料O	16	20	85	92
	指定混合肥料P	16	23	87	88
	指定混合肥料Q	7	7	84	95
グループ別の平均値	G1	93	97	88	92
	G2	63	72	81	98
	G3	41	45	89	87
	G4	16	19	86	92
肥料全体の平均値		59	65	86	93

表２　表１に示した窒素無機化率（25℃90 日）のグループ分け

窒素無機化率推定値%	グループ
90～100	G1
60～90	G2
30～60	G3
30以下	G4

表３　表２に示した各グループに属する肥料の成分値や資材混合等の整理表

グループ	全窒素（乾物%）	アンモニア態窒素（乾物%）	化学肥料混合割合	堆肥混合割合	土改材混合割合	ADSON値注2）
G1(7)	12.2±1.8	9.9±1.9	64±6	36±6	0±0	18±12
最大～最小	14.3～9.2	12.0～6.7	70～55	45～30	0	39～5
G2(5)	8.2±2.9	4.5±3.4	60±0	40±0	0±0	32±9
最大～最小	11.6～6.0	9.3～2.0	60～60	40～0	0	43～17
G3(4)	3.5±0.8	1.0±0.7	12.5±25	50±23	20±14	18±5
最大～最小	4.5～2.7	1.7～0.2	50～0	70～30	30～0	23～11
G4(4)	1.9±0.6	0.3±0.3	5±10	63±5	20±16	9±2
最大～最小	2.7～1.3	0.2～0.1	20～0	70～60	40～0	11～5

注1）上段は平均値±標準偏差、下段は最大値と最小値の範囲を示す。括弧内は点数。
注2）ADSON値は酸性デタージェント可溶の分解しやすい有機態窒素の割合を示す。
なお、分析は農研機構・九州沖縄農業研究センターの古賀伸久氏が行い、データの提供を受けた。

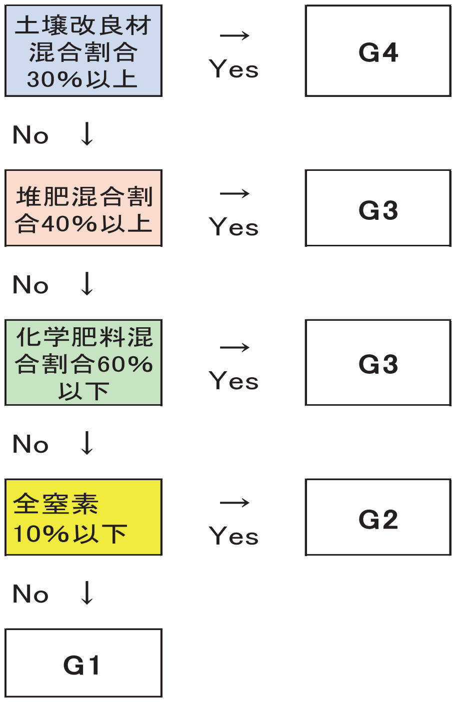


図１　グループ分けのフローチャート

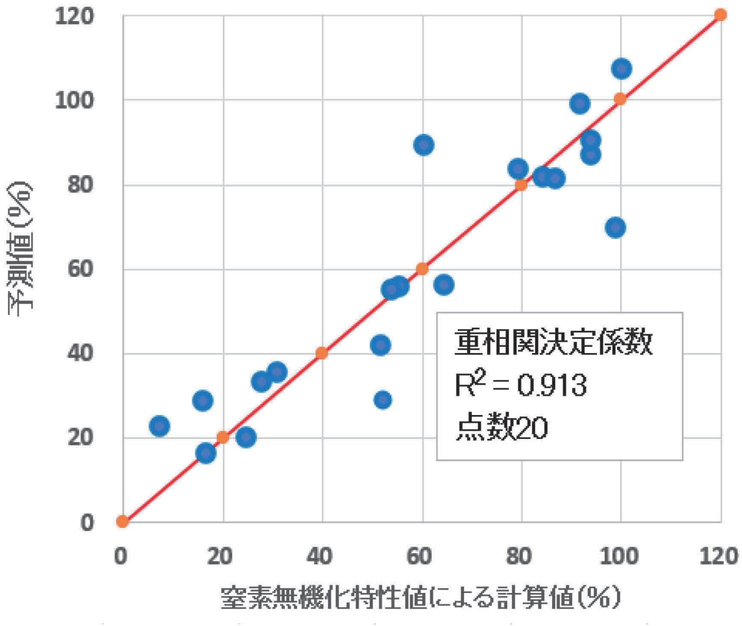


図２　アンモニア態窒素と有機態窒素を説明変数とする重回帰分析による窒素無機化率の予測値と計算値（30 日の例）

【成果２】指定混合肥料の窒素肥効の予測とみえる化

温度別の培養試験の結果から得た窒素無機化特性値と地温データを用いて肥料の窒素無機化量を予測・みえる化する方法を確立しました。窒素無機化量の予測値の検証は裸地土壌での窒素の実測によりほぼ可能でしたが、過大評価の可能性が示されました。また、国内６カ所での窒素無機化量の予測では、地域差よりも肥料や季節の違いによる差が大きいことが認められました。

１）試験内容

指定混合肥料の適正な利用に向けて、肥料に含まれる窒素が栽培中に無機化する量の予測及びみえる化について検討しました。窒素無機化量の予測・みえる化の方法は、培養試験の結果から得た窒素無機化特性値と測定した地温データをもとに、市販品のエクセルソフトを用いて予測する方法です。また、栽培中に無機化される窒素の予測値が妥当かどうか、作物を作付けない裸地土壌で検証を行いました。さらに、国内６カ所の地点における肥料６点からの窒素無機化量について、上述の方法で予測・みえる化を検討しました。

２）試験結果

（１）培養試験結果を解析して得た窒素無機化特性値と地温データに基づき、市販品のエクセルソフト上で地温データを 25℃に温度変換した日数を求めたのち窒素無機化量を予測する方法をとりました（表１、表２）。

（２）。上述の方法による窒素無機化量の予測値と農研機構で開発されたアプリを用いて算出した予測値の整合性を検討した結果、32kg10％以内の差で両者はほぼ一致することが確かめられ、本法による予測の方法と無機化量の予測値がほぼ妥当と判断されました（図１）。表３に各肥料の ADSON 値を示しました。

（３）指定混合肥料６銘柄を用い、栽培中に無機化される窒素の予測値の検証を行いました。肥料窒素は、乾土 100ｇあたり指定混合肥料Ｆが 31mg、指定混合肥料Ｈが 34mg、指定混合肥料 Ｉ が 36mg 添加しました。検証の方法は、肥料を混合した裸地土壌で、一定期間ごとに土壌を採取して土壌中の無機態窒素を実測しました。３銘柄肥料の結果を表４に示しました。実測した値をみると、土壌を含めた窒素量は予測量とほぼ一致することが確認できましたが、土壌を除いた窒素量は予測量よりもかなり低くなりました。このことから、（１）の方法で求めた予測量は窒素無機化量を過大に評価している可能性が伺えました（表４）。

（４）国内６カ所（温暖地として鹿児島市と宮崎市の２カ所、中間地として静岡市と下妻市の２カ所、寒冷地として帯広市と旭川市）の地点において、指定混合肥料６銘柄（指定混合肥料 A、指定混合肥料 F、指定混合肥料 H、指定混合肥料 I、指定混合肥料 J、指定混合肥料 N）の窒素無機化特性値と土壌深 10cm の地温データ（農研機構の土壌インベントリーに収録・整備されている）を利用して、窒素無機化量を予測・みえる化しました。６カ所の地点における窒素無機化量は肥料銘柄の違いによる差の方が大きく、地域による差はほとんど認められませんでした（図２、図３）。また、季節の違いによる差は気温差の大きい３～５月の方が差の小さい６～８月よりも地域

差が大きくなりました（図４）。
（５）詳細なデータは 65 ページ以降に示しました。そちらを参照下さい。

表１　培養試験で得た肥料指定混合肥料 F の窒素無機化特性値

解析モデル式	Y=A1x(1-EXP(-K1xT))+A2x(1-EXP(-K2xT))+B						
肥料銘柄	窒素無機化特性値						
	A1	A2	B	K1	K2	Ea1	Ea2
指定混合肥料F	20.3	26.6	7.0	0.181	0.021	973	4,651

注）A1：無機化しやすい有機態窒素(%)、A2：遅れて無機化する有機態窒素（%）、
B：無機態窒素(%)、K：無機化速度定数（日$^{-1}$）、Ea：活性化エネルギー（J mol^{-1}）
Y：窒素無機化率（%）

表２　窒素無機化特性値と地温データを用いてエクセルソフトにより窒素無機化量を予測する計算例

「指定混合肥料Ｆ」の窒素無機化量の予測値計算

年月日	地温 ℃	温度変換 積算日数	窒素無機化量 mgN/100g
2024/1/30	19.5	1.83	13.7
2024/1/31	17.3	1.77	18.7
2024/2/1	17.6	1.78	22.5
2024/2/2	17	1.76	25.4
2024/2/3	18.4	1.80	27.8
2024/2/4	18.2	1.79	29.8
2024/2/5	14.3	1.69	31.3
2024/2/6	15	1.71	32.6
2024/2/7	16.9	1.76	33.7
2024/2/8	17.7	1.78	34.7
2024/2/9	18	1.79	35.6
2024/2/10	19.3	1.83	36.5
2024/2/11	19.8	1.84	37.2
2024/2/12	19.9	1.84	37.9
2024/2/13	19.5	1.83	38.6
2024/2/14	19.6	1.84	39.2
2024/2/15	18.9	1.81	39.8
2024/2/16	18.9	1.81	40.3
2024/2/17	19.9	1.84	40.9
2024/2/18	20.6	1.86	41.4
2024/2/19	16.8	1.76	41.8

表３　肥料 17 銘柄の酸性デタージェント可溶有機態窒素（ADSON）の値

肥料銘柄	ADSON値	肥料銘柄	ADSON値
指定混合肥料A	38.9	指定混合肥料J	22.8
指定混合肥料B	18.4	指定混合肥料K	16.4
指定混合肥料C	5.0	指定混合肥料L	11.6
指定混合肥料D	6.3	指定混合肥料M	20.5
指定混合肥料E	26.0	指定混合肥料N	10.2
指定混合肥料F	20.6	指定混合肥料O	10.9
指定混合肥料G	14.0	指定混合肥料P	5.5
指定混合肥料H	17.0	指定混合肥料Q	9.0
指定混合肥料I	42.6		

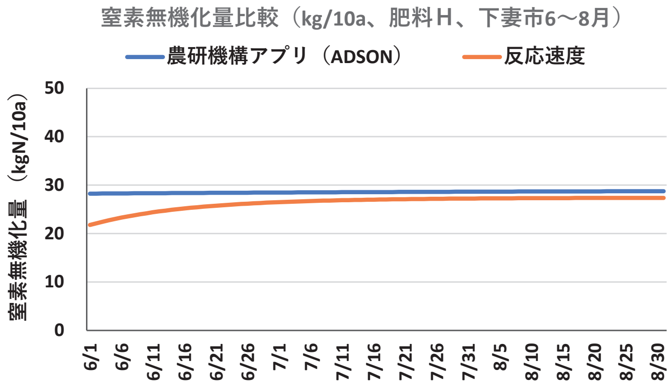


図１　反応速度と ADSON による窒素無機化量予測値の比較
（注）肥料は「指定混合肥料 H」　下妻市（6～8 月）での検討結果

表４　ポット栽培中における窒素無機化量予測量の検証結果

施用後の日数（日）	指定混合肥料F		指定混合肥料H		指定混合肥料I	
	無機化量予測値	裸地ポット実測値	無機化量予測値	裸地ポット実測値	無機化量予測値	裸地ポット実測値
20	41.8	21.3(32.9)	31.9	24.5(36.2)	42.8	22.0(37.6)
30	45.6	25.2(37.6)	33.5	26.0(38.4)	46.7	22.0(39.4)
40	48.2	26.8(40.1)	34.7	26.8(40.1)	49.6	24.7(43.2)

注）裸地実測値は無肥料区を差し引いた値、カッコ内は含めた値。単位はmgN/100g乾土。

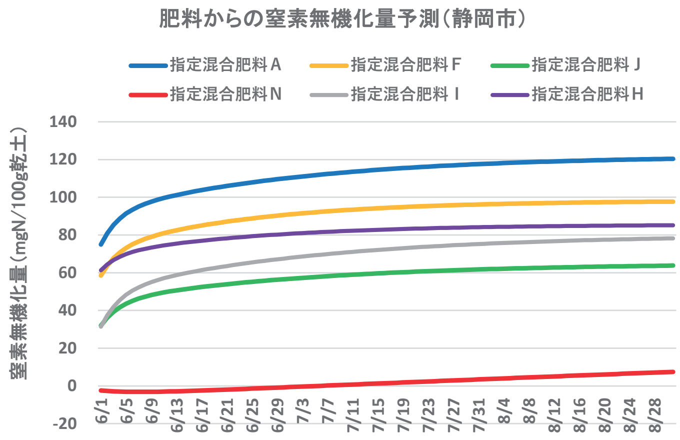


図２　　肥料の違いによる窒素無機化量の予測結果（静岡市の例）

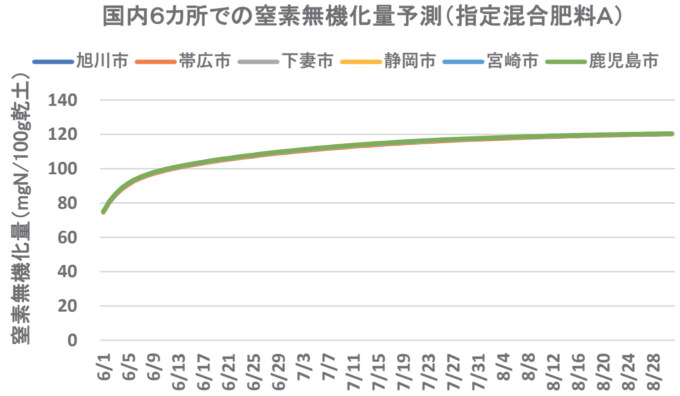


図３　国内６カ所の異なる地域における肥料の窒素無機化量の予測結果（指定混合肥料Ａの例）

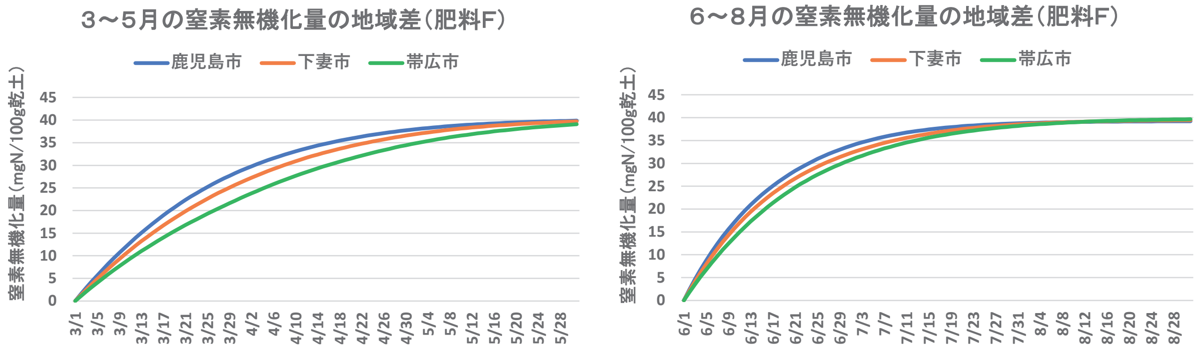


図４　窒素無機化量の季節による地域差

【成果３】指定混合肥料の連用による土壌地力の維持増強効果

指定混合肥料４銘柄を用いた連用試験により、土壌地力項目（可給態窒素と化学性）が維持増強される効果を実証しました。地力を高める効果は堆肥と泥炭を含む肥料が最も高く、堆肥と化成肥料を含む肥料は維持効果が認められました。

１）試験内容

指定混合肥料４銘柄と有機物の少ない火山灰下層土を用いて、化学肥料を対照に野菜を連用栽培して土壌地力の維持・増強効果について検討しました。

（１）４銘柄の指定混合肥料を用いました。家畜ふん堆肥と化成肥料を含む肥料が１銘柄（指定混合肥料 H)、家畜ふん堆肥と泥炭を含む肥料が２銘柄（指定混合肥料 L と指定混合肥料 N)、化成肥料と堆肥と泥炭を含む肥料が１銘柄（指定混合肥料 J）です。表１に分析結果、窒素、リン酸、カリの推定肥効率、混合されている材料の種類と割合を示しました。

（２）ポット栽培による肥料の連用は１年間に３作、３年間で合計９作行いました。栽培した野菜品目は１～３作がラディッシュ、４作がコマツナ、５作がホウレンソウ、６～９作がラディッシュです。連作栽培における栽培管理の概要は、「成果４」の表１にまとめて記載しましたので、そちらを参照して下さい。施肥設計は窒素量を施肥基準量に合わせる方法を基準とし、指定混合肥料 N を除く全肥料は８作まで継続しました。各作の肥料の施用量について表２に示しました。指定混合肥料 N は土壌の分析結果、塩基類の集積が進みｐＨが中性近くまで上昇したので、５作以降は４作までの肥料量の約１/７に落として継続しました。９作ラディッシュは残効をみるため無肥料で栽培しました。

２）試験結果

（１）指定混合肥料の連用に土壌の地力項目（化学性成分と可給態窒素）は確実に高まりました。連用を重ねるにつれて土壌の有機物、窒素含有率は上昇し、蓄積効果は堆肥と土壌改良資材（泥炭）の含まれている指定混合肥料 N と指定混合肥料 J が高く、指定混合肥料 L が続き、指定混合肥料 H は低いでした。指定混合肥料 N では連用すると塩類が蓄積する可能性がありますので、施用量に注意する必要があります（以上、図１～図３）。

（２）連用に伴う有機物、窒素の蓄積効果により地力の重要な要因である可給態窒素も上昇しました。８作の連用において、指定混合肥料 N では開始土壌のほぼ２倍、指定混合肥料 J ではほぼ 1.5 倍、指定混合肥料 L ではほぼ 1.3 倍と高くなりました。堆肥と化学肥料の混合肥料である指定混合肥料 H は、開始土壌とほぼ横ばいの値で推移しており、地力の維持効果が認められました。ただ、無肥料栽培した９作跡土の可給態窒素は７作跡土の 1/3～1/2 程度まで低下しました。なお、指定混合肥料 N の５作跡土における可給態窒素の低下は、施用量を約 1/7 に減らしたためです。指定混合肥料と違って化成肥料のみでは地力が維持できませんでした（以上、図４）。

（３）このように、肥料に混合されている堆肥の種類、品質、連用の回数により効果の

大きさは異なりますが、指定混合肥料による土壌の地力増強効果を実証できました。ただ、肥料の連用を停止した跡土では可給態窒素が急に低下することに注意する必要があります。

（４）詳細なデータは 15 ページ以降に示しました。そちらを参照下さい。

表１　使用した指定混合肥料の分析値と含まれる材料の種類と割合

窒素肥効による分類グループ		G2	G3	G3	G4
肥料銘柄	単位等	指定混合肥料H	指定混合肥料J	指定混合肥料L	指定混合肥料N
窒素	乾物%	12.5	4.1	3.5	1.6
炭素窒素比		1.3	6.9	10.3	21.6
リン酸	乾物%	3.7	6.8	3.4	2.0
カリ	乾物%	8.5	5.5	3.0	1.9
推定肥効率(%)	窒素	84	60	32	26
	リン酸	88	87	89	88
	カリ	98	90	91	92
普通肥料	数値は材料の	硫安、塩加、化成60	化成、塩加、硫安50	0	0
家畜ふん堆肥	混合割合	牛・鶏堆肥40	牛堆肥30	牛・豚・鶏堆肥70	牛・鶏堆肥60
土壌改良資材	%	0	泥炭・炭カル20	泥炭30	泥炭・炭カル40

表２　連用試験における指定混合肥料の施用量について

試験区	1～3作	4作	5作	6～8作
	肥料の施用量（現物 g/ポット）			
指定混合肥料H	7.7	10	7.7	7.7
指定混合肥料J	23	31	23	23
指定混合肥料L	31	41	31	31
指定混合肥料N	77	103	10	10

注）1～3、6～8作はラディッシュ、4作コマツナ、
5作ホウレンソウ

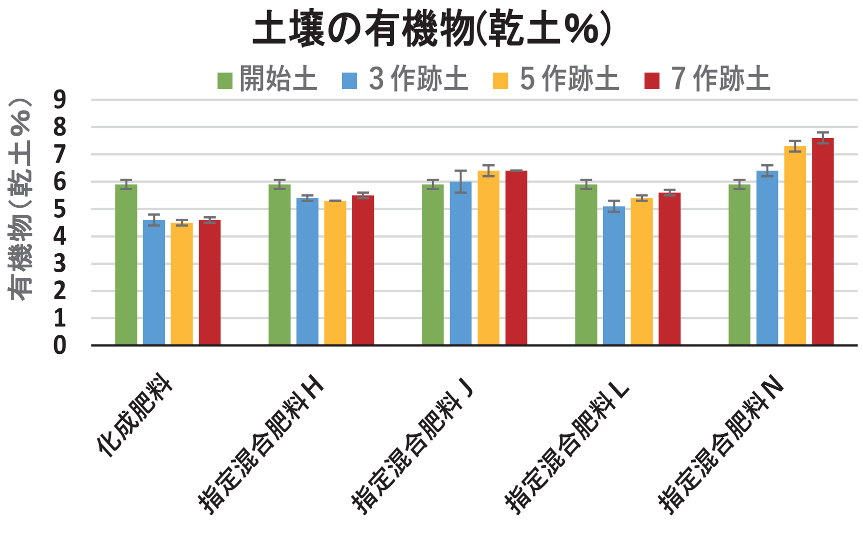


図１　指定混合肥料の連用に伴う土壌の有機物含有率の推移

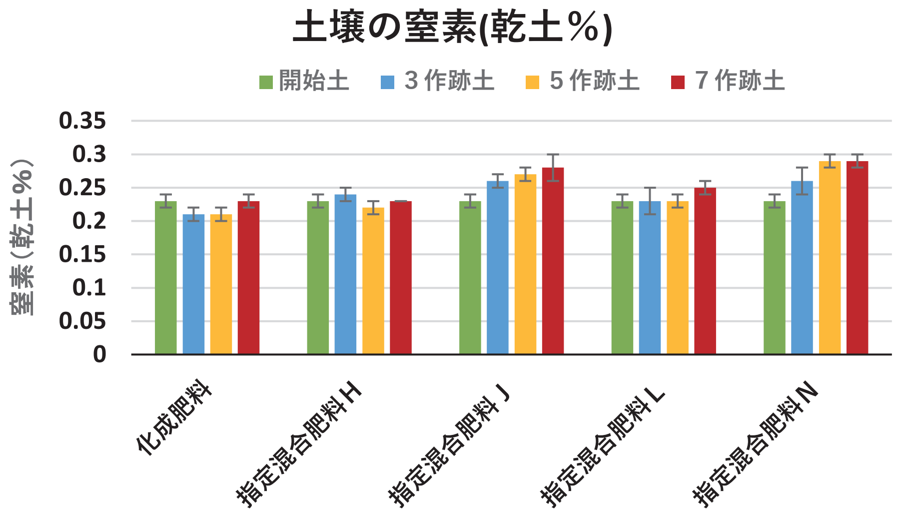


図2　指定混合肥料の連用に伴う土壌の窒素含有率の推移

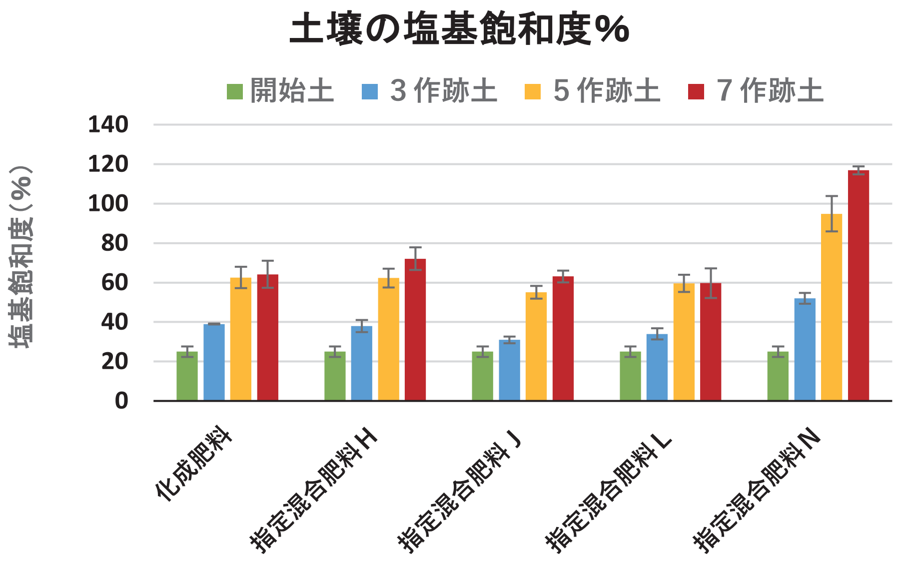


図3　肥料の連用による土壌の塩基飽和度の推移

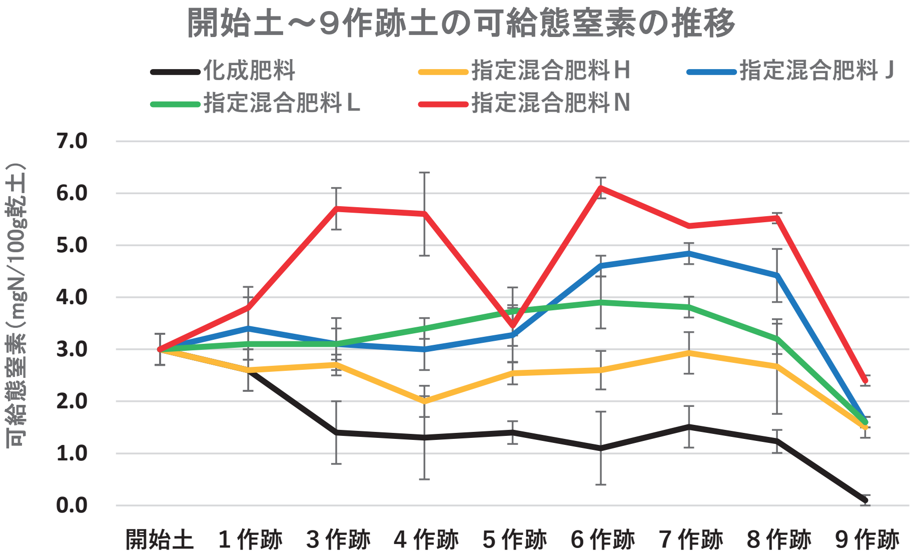


図4　肥料の連用による跡地土壌の可給態窒素の変化

【成果４】土壌地力の維持増強に伴う野菜の生育・収量反応

指定混合肥料の連用によって土壌地力が維持増強されるに伴い、野菜の収量は確実に増収するとともに、養分の吸収量も増加することを明らかにしました。また、土壌地力が高まることによって野菜の気象災害に対するリスクが軽減される可能性が認められました。

１）試験内容

指定混合肥料４銘柄と有機物の少ない火山灰下層土を用いて、化学肥料を対照に野菜を連用栽培して野菜の生育・収量反応及び土壌地力の維持増強効果について検討しました。ここでは栽培した野菜の生育、収量、養分吸収等の結果について、土壌地力と関連して紹介します。

なお、用いた指定混合肥料４銘柄の分析値等、栽培した野菜品目、施肥設計については成果３に記載した試験内容や試験結果を参照して下さい。表１に９作全体に関する栽培管理をまとめました。この中で、肥料の施用量（施肥量）や土壌化学性、土壌改良、土壌分析については成果３の結果に直結しますので、成果３と成果４に共通して参照下さい。

２）試験結果

（１）指定混合肥料の連用を重ねるにつれて、とくに７作と８作のラディッシュの新鮮重（葉と大根の合計重）は化成肥料区より大幅に優りましたが、肥料間に大きな差はみられませんでした。７作の新鮮重はラディッシュ最高の数値を示しました（図１）。また、ラディッシュの窒素吸収量も肥料の連用を重ねるにつれて増加しており、７作が最大となりました（図３）。このように、土壌の地力増強に沿って、野菜も増収し、それに伴い養分吸収量も上昇することを明らかにしました。

（２）８作ラディッシュにおける肥料区の新鮮重は化成肥料区より優りましたが、７作の肥料区より低下しました。低下の原因は高温障害（写真１）と推察されました。ただ、化成肥料区は７作の50％以下に減収しましたが、肥料区の減収程度は７作の80％程度に留まり、化成肥料区ほど大きくありませんでした（図２）。土壌地力を増強した結果、気象災害リスクが軽減された可能性が示されました。

（３）無肥料栽培した９作ラディッシュは７作ラディッシュとほぼ同等の新鮮重が得られましたが、窒素吸収量はかなり少なくなりました（図４）。

（４）以上の結果、肥料に混合されている家畜ふん堆肥の種類、品質、連用の回数と土壌の地力増強効果を土壌とともに実証すると同時に、野菜の生育・収量性、高温障害軽減効果の可能性なども加味した地力増強効果を明らかにし、地力増強の重要なことが検証できました。

（５）詳細なデータは15ページ以降に示しました。そちらを参照下さい。

表１　連作栽培試験における栽培管理の概要

項目	１作～３作	４作	５作	６作～８作	９作
野菜品目	ラディッシュ	コマツナ	ホウレンソウ	ラディッシュ	ラディッシュ
肥料の施用量（施肥量）	全肥料とも窒素の施肥基準に合わせた施用量	全肥料とも窒素の施肥基準に合わせた量	指定混合肥料Ｎのみ1/10量に施用減、他の肥料は４作と同量	指定混合肥料Ｎのみ1/10量に施用減、他の肥料は４作と同量	無施用
土壌の化学性、土壌改良、土壌分析など	開始前に酸性及びリン酸改良を施す	土壌分析の結果ゆうゆう堆肥のみ特定の成分蓄積あり、施用量見直し	土壌分析にて全試験区に酸性およびリン酸改良を施す	土壌分析にて６作にリン酸改良、７・８作は実施せず	実施せず

注）５年度に1～３作、６年度に４～６作、７年度に７～９作栽培

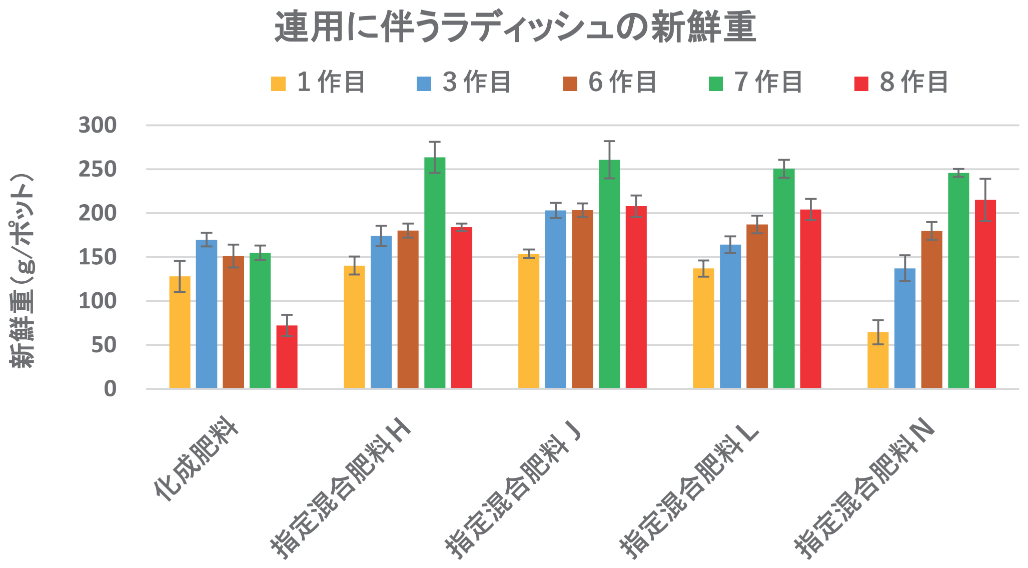


図１　肥料の連用に伴うラディッシュの新鮮重の推移

注）７作が最高収量、８作は高温障害、

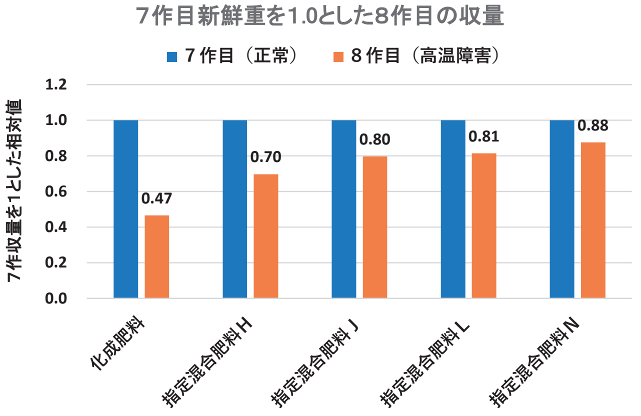


図２　７作と８作ラディッシュの新鮮重比較（高温障害による８作の減収比較）

７作目栽培：平均気温 18.9℃（最高 38.5℃、最低 3.4℃）

８作目栽培、平均気温 27.3℃（最高 46.5℃、最低 17.2℃）

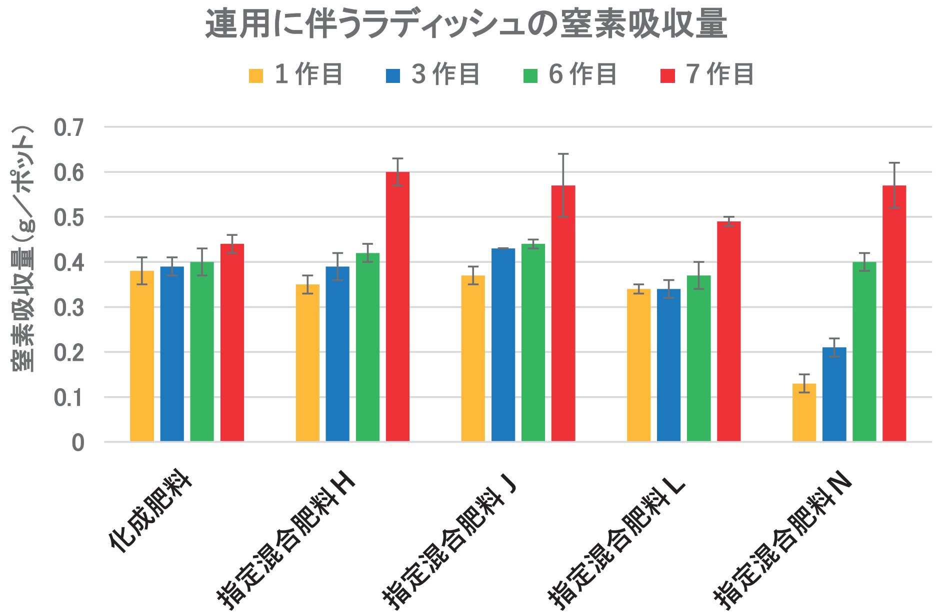


図３　ラディッシュの窒素吸収量の推移

写真１　８作ラディッシュの栽培中に発生した高温障害の症状

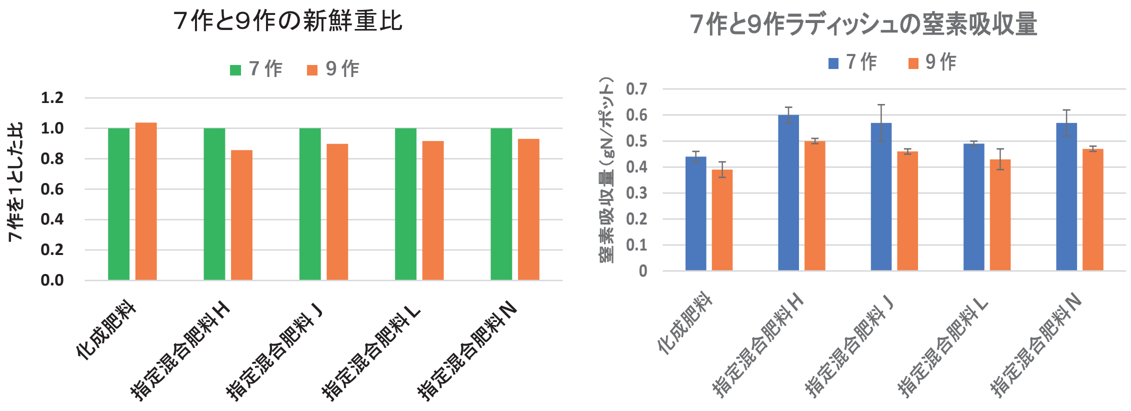


図４　９作ラディッシュの新鮮重（左）と窒素吸収量（右）

5．指定混合肥料の連用による土壌地力の維持増強効果の実証

ポイント

ポット栽培試験において、４銘柄の指定混合肥料を３年間に９作連用して野菜栽培試験を実施し、野菜の生育・収量や養分吸収量、土壌地力項目などを調べて指定混合肥料の連用による土壌地力の維持増強効果を実証しました。

１）供試した指定混合肥料[*1]、土壌、作物について

指定混合肥料を連用による土壌地力の維持増強実証のためのポット栽培試験の方法について、共通する項目について以下にまとめました。

（１）供試した指定混合肥料について

まず指定混合肥料の法律上のグループ分けを行いました。表 5-1 に示したグループⅠから「指定混合肥料 H」、グループⅢから「指定混合肥料 L」、グループⅣから「指定混合肥料 N」と「指定混合肥料 J」を選定しました。選んだ４肥料について、「現物の形状写真」を写真 5-1 に、研究所で実施しました「成分分析」の結果を表 5-2 に、肥料袋に掲載されている「保証表」の情報を表 5-3 に示しました。

指定混合肥料 H は普通肥料と家畜ふん堆肥を混合しペレット化した肥料で、普通肥料が 60%、牛ふん堆肥と鶏ふん堆肥が合わせて 40%混合され、成分濃度は 12-3.4-6.0%です。窒素肥効の分類グループではＧ２に属します。

指定混合肥料 L は普通肥料が含まれておらず、家畜ふん堆肥と土壌改良資材（以下、土改材と略す）を混合しペレット化した肥料で、牛ふん堆肥・豚ふん堆肥・鶏ふん堆肥が合わせて 70%、泥炭が 30%混合され、成分濃度は 3.0-2.7-2.2%です。窒素肥効の分類グループではＧ３に属します。

指定混合肥料 N は家畜ふん堆肥と土壌改良資材を混合しペレット化した肥料で、牛ふん堆肥と鶏ふん堆肥が合わせて 60%、土改材（泥炭と炭酸カルシウム）が 40%混合され、成分濃度は 1.2-1.6-1.3%です。窒素肥効の分類グループではＧ４に属します。

指定混合肥料 J は普通肥料と家畜ふん堆肥と土改材を混合しペレット化した肥料で、普通肥料が 50%、牛ふん堆肥が 30%、泥炭と炭酸カルシウムが 20%混合され、成分濃度は 4.0-5.2-4.2%です。普通肥料の銘柄の詳細については表 5-3 の保証表をご覧下さい。窒素肥効の分類グループではＧ３に属します。

また、分析結果に基づいて推定した４肥料の窒素―リン酸―カリの肥効率は、指定混合肥料 H が 84%―88%―98%、指定混合肥料 L が 32%―89%―91%、指定混合肥料 N が 26%―88%―92%、指定混合肥料 J が 60%―87%―90%という値になりました。

表 5-1　指定混合肥料の法律上のグループ分けと属する肥料銘柄名事例

グループ	混合物の種類・内容	肥料銘柄名
1	普通肥料+特殊肥料	指定混合肥料H、CN11・CN20・CN23混合肥料 指定混合肥料F、肥料P、肥料G、肥料I
2	普通肥料+土壌改良資材	
3	特殊肥料+土壌改良資材	指定混合肥料Q、肥料L、肥料O
4	普通肥料+特殊肥料+土壌改良資材	指定混合肥料N、肥料J、肥料K

特殊肥料：家畜ふん堆肥、米ぬか、魚かす、コーヒーかすなど
土壌改良資材：地力増進法で使用が認められている9資材のみ使用可能、
泥炭、腐植酸質資材、木炭、けいそう土焼成粒、ゼオライト、バーミキュライト、パーライト
ベントナイト、VA菌根菌資材

指定混合肥料 H　指定混合肥料 L　指定混合肥料 N　指定混合肥料 J

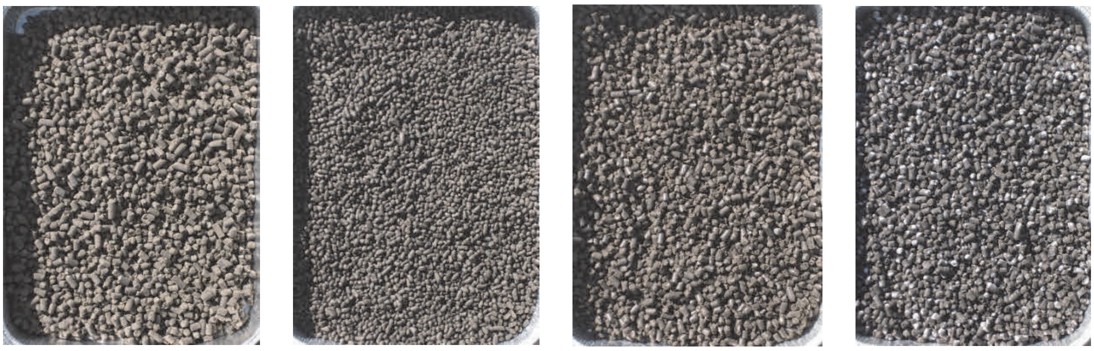


写真 5-1　供試した指定混合肥料 4 銘柄の現物写真
（製品の性状は指定混合肥料 H、指定混合肥料 N、指定混合肥料 J がペレットタイプ、指定混合肥料 L がアグレットタイプとなっています）

表 5-2　供試した指定混合肥料銘柄の成分分析結果と推定肥効率

法律上の分類グループ		I	Ⅳ	Ⅲ	Ⅳ
窒素肥効による分類グループ		G2	G3	G3	G4
肥料銘柄		指定混合肥料H	指定混合肥料J	指定混合肥料L	指定混合肥料N
成分値	$N\text{-}P_2O_5\text{-}K_2O$	12-3.4-6	4.0-5.2-4.2	3.0-2.7-2.2	1.2-1.6-1.3
原料堆肥		牛・鶏堆肥	牛堆肥・泥炭	牛・豚・鶏堆肥・泥炭	牛・鶏堆肥・泥炭
水分	現物%	5.4	6.2	5.5	7.0
pH		7.2	7.1	6.2	7.8
EC	mS/cm	65.3	18.6	14.1	2.7
窒素	乾物%	12.5	4.1	3.5	1.6
炭素	乾物%	17	29	37	34
炭素窒素比		1.3	6.9	10.3	21.6
リン酸	乾物%	3.7	6.8	3.4	2.0
カリ	乾物%	8.5	5.5	3.0	1.9
石灰	乾物%	2.5	12	5.1	12.1
苦土	乾物%	2.0	6.9	1.4	5.6
推定肥効率(%)	窒素	84	60	32	26
	リン酸	88	87	89	88
	カリ	98	90	91	92

注）窒素の推定肥効率は窒素無機化特性値を用い、25℃・90日の窒素無機化率より、
リン酸とカリの推定肥効率は2%クエン酸によるく溶率より求めた。

表 5-3　　供試した指定混合肥料４銘柄の保証情報について

肥料銘柄		指定混合肥料H	指定混合肥料J	指定混合肥料L	指定混合肥料N
成分値	N-P_2O_5-K_2O	12-3.4-6.0	4-5.2-4.2	3-2.7-2.2	1.2-1.6-1.3
原料堆肥		牛ふん、鶏ふん	牛ふん	牛ふん、豚ふん、	牛ふん、鶏ふん
材料内容					
普通肥料割合	%	60	50	0	20
特殊肥料割合	%	40	30	70	60
土壌改良資材割合	%		20	30	40
普通肥料	多い順	硫安	化成肥料		炭カル
		塩化加里	塩化加里		
		化成肥料	硫安		
		尿素	尿素		
		微量要素複合肥料	微量要素複合肥料		
			過石		
特殊肥料		牛ふん	牛ふん	牛ふん	牛ふん
		鶏ふん	オガクズ	豚ふん	オガクズ・チップ
		植物残さ	石灰	鶏ふん	鶏ふん
		稲わら	活性炭		石灰
		もみがら	米ぬか		活性炭
		米ぬか			発酵補助資材
土壌改良資材			泥炭	泥炭	泥炭
			炭カル		

（２）供試した土壌について

有機物の少ない黒ボク土（淡色黒ボク土）の下層土を用いました。混合堆肥複合肥料を施用した現地での栽培試験結果から、跡地土壌の可給態窒素は黒ボク土よりも淡色黒ボク土の方が高まる可能性が認められたからです。採取地は栃木県大田原市藤沢地区です。この土壌をポット栽培に使用するため石礫や雑草根などを除去し、大きな土塊を砕き、酸性矯正や可給態リン酸などの土壌改良を施してポット栽培に供試しました（写真 5-1）。この土壌の化学性について、分析会社に依頼して分析した結果を表 5-4　に示しました。炭素は 3.４%、窒素は 0.23%（いずれも乾土当たり）と低い値で、目的に叶った土壌でした。

用語説明

＊1　指定混合肥料

登録済みの普通肥料や特殊肥料、指定された土壌改良資材などを混ぜ合わせて作られ、届け出だけで生産・販売が可能な肥料をいう。作物の養分特性に合わせた配合が可能で、堆肥の利用拡大や土壌改良などのメリットを有します。

1

2

3

4

写真 5-1　ポット栽培試験に使用するための土壌処理と土壌改良、ポット充填の様子（写真１：採取土壌に含まれている大きい土塊を平底スコップで砕く、写真２：細かくなった土壌に苦土石灰、ようりん、過リン酸石灰、塩化カリを加え、酸性・リン酸・カリの改良を施す、写真３と４：土壌改良資材を加えた土壌を約２週間ハウス内に置き反応を進め、10kg を 1/2000 アールポットに充填しました。）

表 5-4　供試土壌の化学性

項目	単位	福島県土壌 改良目標値	ポット連用栽培試験 開始土壌
pH	H2O	6.0～6.5	6.4
EC	mS/cm	–	0.58
炭素	乾土%	–	7.0
有機物(腐植)	乾土%	2以上	12.1
窒素	乾土%	–	0.51
炭素窒素比	–	–	14
可給態リン酸	mg/100g乾土	20以上	43
石灰飽和度	%	50～70	51
苦土飽和度	%	15～20	22
カリ飽和度	%	2～10	3
塩基飽和度	%	70～90	76
CEC	meq/100g乾土	15以上	43
石灰/苦土比	当量比	6以下	2.3
苦土/カリ比	当量比	2以上	8.8
交換性石灰	mg/100g乾土	–	611
交換性苦土	mg/100g乾土	–	188
交換性カリ	mg/100g乾土	–	50

注)結果は3反復の平均値

（３）栽培した野菜品目について

表 5-5 に示したように、１～３作はラディッシュ、４作はコマツナ、５作はホウレンソウ、６作から９作は再びラディッシュとしました。野菜は各作ともポット当たり８株としました。

２）ポット栽培の連用計画と施肥設計について

（１）栽培試験方法について

①試験場所と試験規模について

試験は畜産環境技術研究所のビニールハウス内にて実施しました。試験規模は 1/2,000 アールサイズのワグネルポットを用い、反復数は５としました。

②試験区について

試験区として指定混合肥料として４区と化成肥料区（対照区）の計５区としました。４点の肥料銘柄は（１）に示したとおりです。

③令和５年から７年までの３年間の連用栽培計画について

１年間に３作栽培を連作する計画、すなわち５年度は１～３作を、６年度は４～６作を、７年度は７～９作を連作栽培する計画としました。表 5-5 に連作栽培における野菜品目と施肥・土壌管理の概要をまとめました。

表 5-5　　ポット連作試験における野菜品目と施肥・土壌管理の概要

項目	１作～３作	４作	５作	６作～８作	９作
野菜品目	ラディッシュ	コマツナ	ホウレンソウ	ラディッシュ	ラディッシュ
肥料の施用量（施肥量）	全肥料とも窒素の施肥基準に合わせた施用量	全肥料とも窒素の施肥基準に合わせた量	指定混合肥料Ｎのみ1/10量に施用減、他の肥料は４作と同量	指定混合肥料Ｎのみ1/10量に施用減、他の肥料は４作と同量	無施用
土壌の化学性、土壌改良、土壌分析など	開始前に酸性及びリン酸改良を施す	土壌分析の結果ゆうゆう堆肥のみ特定の成分蓄積あり、施用量見直し	土壌分析にて全試験区に酸性およびリン酸改良を施す	土壌分析にて６作にリン酸改良、７・８作は実施せず	実施せず

注）５年度に1～３作、６年度に４～６作、７年度に７～９作栽培

（２）施肥設計の方法について

各野菜の施肥基準量における窒素に合わせる施肥設計を基本としました。すなわち、指定混合肥料の推定した窒素肥効率を窒素全量に乗じて化学肥料相当の成分量を求め、この数値から野菜の窒素基準量に合わせた肥料の施用量を算出しました。化

学肥料区は窒素 8%、リン酸 8%、カリ 8%の化成肥料を用い、同様に算出しました。表 5-6 に 1 ～ 3 作ラディッシュの、表 5-7 に 4 作コマツナの、表 5-8 に 5 作ホウレンソウの、表 5-9 に 6 ～ 8 作ラディッシュの施肥設計を示しました。

表 5-6　窒素量を合わせたラディッシュ 1 ～ 3 作の施肥設計

試験区	現物施用量g/pot	乾物施用量g	1a/2000ポット当たり g			化学肥料による補充	
			窒素	リン酸	カリ	リン酸	カリ
指定混合肥料H	7.7	7.4	0.8	0.2	0.4	0.5	0.4
指定混合肥料J	23.2	22.1	0.8	1.0	0.8	−	−
指定混合肥料L	31.0	29.4	0.8	0.7	0.6	−	0.2
指定混合肥料N	77.4	73.5	0.8	1.1	0.8	−	−
施肥基準量		g/ポット	0.5～0.75	0.5～0.75	0.5～0.75	過リン酸石灰	硫酸カリ
		kg/10a	10～15	10～15	10～15	3.0g	0.8−0.4g

化成肥料	1a/2000ポット当たり g		
	窒素	リン酸	カリ
	化成肥料（8−8−8%）		
施肥基準量g	0.75	0.75	0.75
肥料量g	9.4		
施肥量g	0.75	0.75	0.75

表 5-7　　4 作コマツナの施肥設計

試験区	現物施用量g/pot	乾物施用量g	1a/2000ポット当たり g			化学肥料による補充	
			窒素	リン酸	カリ	リン酸	カリ
指定混合肥料H	10.3	9.8	1.0	0.3	0.5	0.7	0.5
指定混合肥料J	31.0	29.4	1.0	1.4	1.1	−	−
指定混合肥料L	41.3	39.2	1.0	1.0	0.7	−	0.3
指定混合肥料N	103.2	98.0	1.0	1.4	1.1	−	−
施肥基準量		g/ポット	1.0	0.75	0.75	過リン酸石灰	硫酸カリ
		kg/10a	20	15	15	4.2g	1.0−0.6g

化学肥料区	1a/2000ポット当たり g		
	窒素	リン酸	カリ
	化成肥料（8−8−8%）		
施肥基準量g	1.0	0.75	0.75
肥料量g	12.5		
施肥量g	1.0	1.0	1.0

表 5-8　5作ホウレンソウの施肥設計

試験区	現物施用量g/pot	乾物施用量g	1a/2000ポット当たり g			化学肥料による補填		
			窒素	リン酸	カリ	窒素	リン酸	カリ
指定混合肥料H	7.7	7.4	0.8	0.2	0.4	–	0.5	0.4
指定混合肥料J	23.2	22.1	0.8	1.0	0.8	–	–	–
指定混合肥料L	31.0	29.4	0.8	0.7	0.6	–	–	0.2
指定混合肥料N	10.0	9.5	0.1	0.1	0.1	0.7	0.6	0.7
施肥基準量		g/ポット	0.5～0.75	0.5～0.75	0.5～0.75	硫安	過石	硫酸カリ
		kg/10a	10～15	10～15	10～15	3.33g	3.0、3.5g	0.8,0.4,1.4g

注）指定混合肥料Nの施用量はメーカー推奨施用量の200kg/10a（10g/ポット）とした。

化成肥料	1a/2000ポット当たり g		
	窒素	リン酸	カリ
	化成肥料（8-8-8%）		
施肥基準量g	0.75	0.75	0.75
肥料量g	9.4		
施肥量g	0.75	0.75	0.75

試験区	4作跡土の分析結果に基づく土壌改良目標				
	pH		可給態リン酸		土壌重kg
	改良目標	施用量g	改良目標	施用量g	
指定混合肥料H	pH（H_2O）	7.5	100g乾土	3.5	3.5
指定混合肥料J		7.1		3.3	3.3
指定混合肥料L	6.0～6.5	6.6	当たり	3.1	3.1
指定混合肥料N		–	20mg以上	3.0	3.0
化成肥料		5.4		2.5	2.5
資材	使用資材 消石灰（CaO70%）		使用資材 ようりん（P_2O_5:20%）		ポット 上半部

表 5-9　　6～8作ラディッシュの施肥設計

試験区	現物施用量g/pot	乾物施用量g	1a/2000ポット当たり g			化学肥料による補填		
			窒素	リン酸	カリ	窒素	リン酸	カリ
指定混合肥料H	7.7	7.4	0.8	0.2	0.4	–	0.5	0.4
指定混合肥料J	23.2	22.1	0.8	1.0	0.8	–	–	–
指定混合肥料L	31.0	29.4	0.8	0.7	0.6	–	–	0.2
指定混合肥料N	10.0	9.5	0.1	0.1	0.1	0.7	0.6	0.7
施肥基準量		g/ポット	0.5～0.75	0.5～0.75	0.5～0.75	硫安	過石	硫酸カリ
		kg/10a	10～15	10～15	10～15	3.33g	3.0、3.5g	0.8,0.4,1.4g

注）指定混合肥料Nの施用量はメーカー推奨施用量の200kg/10a（10g/ポット）とした。

化成肥料	1a/2000ポット当たり g		
	窒素	リン酸	カリ
	化成肥料（8-8-8%）		
施肥基準量g	0.75	0.75	0.75
肥料量g	9.4		
施肥量g	0.75	0.75	0.75

注）ただしリン酸資材を５作と同量施用、石灰資材は施用せず。

３）野菜と土壌の調査方法及び地力の維持増強効果の評価方法

（１）野菜の調査方法について

野菜は収穫調査を行いました。収穫した野菜は 70℃で乾燥・粉砕し、成分分析を

行いました。成分分析は外部の分析会社へ依頼し、養分の吸収量も調べました。

（２）土壌の調査方法について

栽培が終了した各ポットの跡地土壌を 40g ほど採取し、５反復分をすべて混ぜ合わせた 200g を３分割して分析サンプル（風乾細土）としました。このサンプルについて、地力の重要な要因とされる可給態窒素量（公定法である 30℃、４週間培養法による測定で、培養後に生成されるアンモニア態と硝酸態窒素の合計量から培養前の合計量から差し引いて算出）と化学性に関する分析を行いました。化学性の分析は外部の分析機関に依頼しました。ちなみに化学性の分析項目は水分、pH(H2O)、EC（電気伝導度）、全炭素、全窒素、炭素窒素比（C/N 比）、可給態リン酸、交換性のカルシウム、マグネシウム、カリウム、陽イオン交換容量（CEC）です。

（３）地力の維持増強効果の評価方法について

野菜の栽培跡地土壌の可給態窒素量結果、連用土壌の一般化学成分の分析結果、野菜の収量調査結果を総合して、地力の維持増強効果について評価を行いました。

４）肥料の連用に伴う野菜の生育、収量等の推移

（１）１～３作ラディッシュの生育、収量について

ラディッシュ１作において、窒素肥効Ｇ２に属する「指定混合肥料 N」の収量が他の肥料区に比べてかなり劣りました。その理由として、指定混合肥料 N では初期に微生物による窒素の取り込みがあり、窒素不足がラディッシュの生育に悪影響を及ぼしたと考えられました。１作で収量が劣った指定混合肥料 N は、２作に約２倍、３作にはさらに増収し、連用効果が大きいことが分かりました。３作ではいずれの肥料区も前作より増収し、連用回数が増すに従いラディッシュの収量は増収していることから、連用に伴う土壌地力の上昇が伺われました（表 5-10～表 5-12、図 5-1）。

表 5-10　　１作ラディッシュの収穫調査結果

試験区	草丈 cm	葉数 枚	葉色 SPAD値	新鮮重 g/ポット	乾物重 g/ポット	乾物率 %	水分率 %
化成肥料	16.3	5.9	31	128	7.6	6.0	94.0
指定混合肥料H	17.1	5.3	32	140	7.6	5.4	94.6
指定混合肥料J	15.7	5.9	32	154	8.3	5.4	94.6
指定混合肥料L	15.9	6.0	31	137	7.4	5.4	94.6
指定混合肥料N	12.2	5.3	28	65	4.2	6.6	93.4

注）ポット当たり8株について、収量、乾物重は葉と根の合算表示

表 5-11　２作ラディッシュの収穫調査結果

試験区	草丈 cm	葉数 枚	葉色 SPAD値	新鮮重 g/ポット	乾物重 g/ポット	乾物率 %	水分率 %
化成肥料	14.7	5.7	32	124	7.2	5.8	94.2
指定混合肥料H	14.4	5.4	33	133	7.5	5.7	94.4
指定混合肥料J	16.2	5.5	33	160	8.3	5.2	94.8
指定混合肥料L	14.1	5.6	31	136	7.1	5.3	94.7
指定混合肥料N	12.3	5.1	30	112	6.4	5.7	94.3

注）ポット当たり8株について、収量、乾物重は葉と根の合算表示

表 5-12　３作ラディッシュの収量調査結果

試験区	草丈 cm	葉数 枚	葉色 SPAD値	生重量 g/ポット	乾物重 g/ポット	乾物率 %	水分率 %	大根直径 mm
化成肥料	14.3	5.5	31	170	8.6	5.0	95.0	32
指定混合肥料H	14.7	5.1	33	174	8.9	5.1	94.9	34
指定混合肥料J	14.9	5.2	34	203	9.7	4.8	95.2	34
指定混合肥料L	13.4	5.2	32	164	7.7	4.7	95.3	32
指定混合肥料N	11.4	4.9	31	137	7.0	5.1	94.9	29

注）ポット当たり8株について、収量、乾物重は葉と根の合算表示

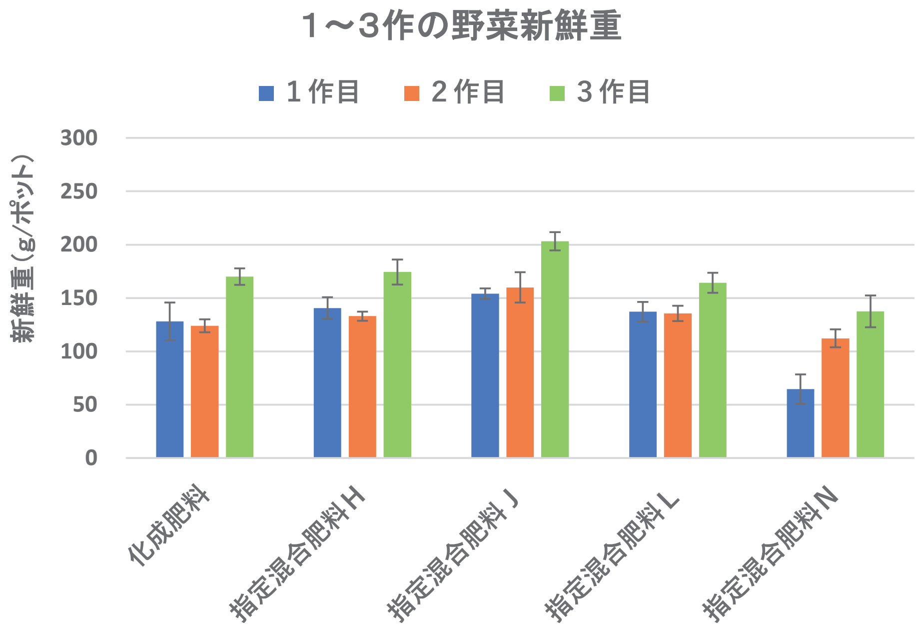


図 5-1　１～３作ラディッシュの収量の推移

（２）４～６作コマツナ、ホウレンソウ、ラディッシュの生育、収量

①４作のコマツナの施肥量は３作までと同様に窒素を合わせる施肥法としました（表5-7）。４～６作の収量結果を表 5-13～表 5-15、図 5-2 に示しました。窒素肥効Ｇ２に属する指定混合肥料 N を除く３肥料では連用に伴い生育が順調で同等の収量が得られましたが、指定混合肥料 N の収量が著しく劣っていました（表 5-13）。その理由を検討した結果、ア）塩基成分が他の肥料区よりも多く蓄積しており pH を高めたこと、イ）初期に微生物による窒素の取り込みのため、窒素不足が悪影響を及ぼしたと判断されました。

②４作で指定混合肥料 N のみ収量が他の肥料より著しく劣っていましたので、５作ホウレンソウでは施肥設計を見直しました（表 5-8）。指定混合肥料 N を除く３銘柄の肥料は４作と同じ施用量とし、指定混合肥料 N はメーカーが推奨するポット当たり10ｇに減らし、不足する窒素、リン酸、カリ量を化学肥料で補填しました。また、ホウレンソウ栽培のため pH と可給態リン酸の改良を行いました。６作では５作と同じ

肥料量とリン酸資材の施用を行いました。

③ 6 作はラディッシュに戻し、5 作と同じ施肥設計としました。ただしリン酸資材は施用し、石灰資材は施用しませんでした。指定混合肥料 N を除く 3 肥料では連用に伴い生育が順調で同等の収量が得られました。一方、指定混合肥料 N では、施肥設計を見直した 5 作のホウレンソウと 6 作のラディッシュの収量が他の肥料と同等となり、施肥改善効果が認められました（表 5-14～表 5-15、図 5-2）。累積収量は指定混合肥料 J が最も高くなりました（図 5-8）。

表 5-13　4 作コマツナの収量調査結果

試験区	草丈 cm	葉数 枚	葉色 SPAD値	生重量 g/ポット	乾物重 g/ポット	乾物率 %	水分率 %
化成肥料	27.7	6.8	39	193	16.4	8.5	91.5
指定混合肥料H	28.6	6.7	37	197	14.6	7.4	92.6
指定混合肥料J	29.1	6.9	39	226	17.8	7.9	92.1
指定混合肥料L	27.9	7.1	40	203	16.7	8.2	91.8
指定混合肥料N	20.2	5.7	35	80	8.6	10.8	89.2

注）ポット当たり8株について、収量、乾物重は茎葉

表 5-14　5 作ホウレンソウの収穫調査結果

試験区	草丈 cm	葉数 枚	葉色 SPAD値	生重量 g/ポット	乾物重 g/ポット	乾物率 %	水分率 %
化成肥料	14.3	12.7	57	52	5.2	10.1	89.9
指定混合肥料H	19.4	14.4	59	95	10.3	10.9	89.1
指定混合肥料J	18.9	14.5	60	94	11.0	11.7	88.3
指定混合肥料L	18.7	14.5	60	95	10.9	11.4	88.6
指定混合肥料N	18.4	15.0	62	99	11.4	11.6	88.4

注）ポット当たり8株について、収量、乾物重は茎葉

表 5-15　6 作ラディッシュの収穫調査結果

試験区	草丈 cm	葉数 枚	葉色 SPAD値	生重量 g/ポット	乾物重 g/ポット	乾物率 %	水分率 %	大根直径 mm
化成肥料	15.1	5.7	36	151	7.9	5.2	94.8	23
指定混合肥料H	15.5	5.5	36	180	8.8	4.9	95.1	28
指定混合肥料J	15.7	5.9	34	204	9.7	4.7	95.4	29
指定混合肥料L	15.0	5.7	34	187	8.6	4.6	95.4	29
指定混合肥料N	16.2	6.0	36	180	8.5	4.7	95.3	28

注）ポット当たり8株について調査した結果である。

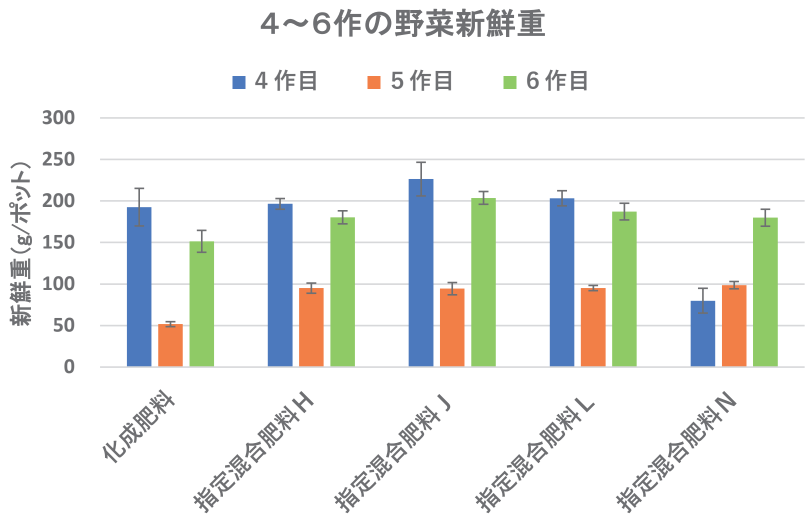


図 5-2　　4～6作コマツナ、ホウレンソウ、ラディッシュの収量の推移

（3）７～８作ラディッシュの生育・収量・養分吸収について

①７作と８作の施肥設計を表 5-9 に示した。肥料の施用量は６作と同量とし、リン酸改良は行いませんでした。

②７作と８作の収穫調査の結果を表 5-16、表 5-17、写真 5-2 に示しました。７作肥料区の新鮮重は化成肥料区より優りましたが、肥料間差はみられませんでした。７作の新鮮重はラディッシュ最高の数値となりました（図 5-7、図 5-9）。

８作ラディッシュにおける肥料区の新鮮重は化成肥料区より大幅に優りましたが、肥料間に大きな差はみられませんでした。７作と比べると新鮮重は低下しました（図 5-3、図 5-4）。低下の原因は高温障害（図 5-5、写真 5-3）と推察されました。化成肥料区は７作の半分に減収しましたが、肥料区の減収程度は化成肥料区ほど大きくありませんでした（図 5-4）。このことより、土壌地力の維持増強効果により気象災害リスクが軽減される可能性が認められました」。

③新鮮重が最高となった７作ラディッシュの成分濃度を測定し、吸収量を求めました。肥料区の窒素濃度は化成肥料と同等かやや下回りましたが、リン酸とカリは肥料区がかなり優りました。その結果、窒素、リン酸、カリの吸収量は肥料区が化成肥料区を上回りました（表 5-19）。また、連用に伴うラディッシュの窒素、リン酸、カリの吸収量は連用を重ねるにつれて増加し、７作が最大となりました（図 5-10）。

表 5-16　　７作ラディッシュの収穫調査結果

試験区	草丈 cm	葉数 枚	葉色 SPAD値	生重量 g/ポット	乾物重 g/ポット	乾物率 %	水分率 %	大根直径 mm
化成肥料	14.5	5.7	38	155	9.8	6.3	93.7	28
指定混合肥料H	18.3	6.3	35	264	13.1	5.0	95.0	36
指定混合肥料J	17.1	5.8	34	261	12.8	4.9	95.1	29
指定混合肥料L	17.2	6.4	33	251	12.3	4.9	95.1	29
指定混合肥料N	17.7	6.5	36	246	13.0	5.3	94.7	28

注）ポット当たり8株について調査した結果である。

表 5-17　　8作ラディッシュの収穫調査結果

試験区	草丈 cm	葉数 枚	葉色 SPAD値	生重量 g/ポット	乾物重 g/ポット	乾物率 %	水分率 %	大根直径 mm
化成肥料	11.8	5.5	39	72	4.6	6.4	93.6	23
指定混合肥料H	18.0	6.3	39	184	11.4	6.2	93.8	30
指定混合肥料J	18.8	6.2	37	208	11.8	5.7	94.3	33
指定混合肥料L	18.3	6.2	38	204	12.7	6.2	93.8	31
指定混合肥料N	18.7	6.9	36	215	12.3	5.7	94.3	33

注）ポット当たり8株について調査した結果である。

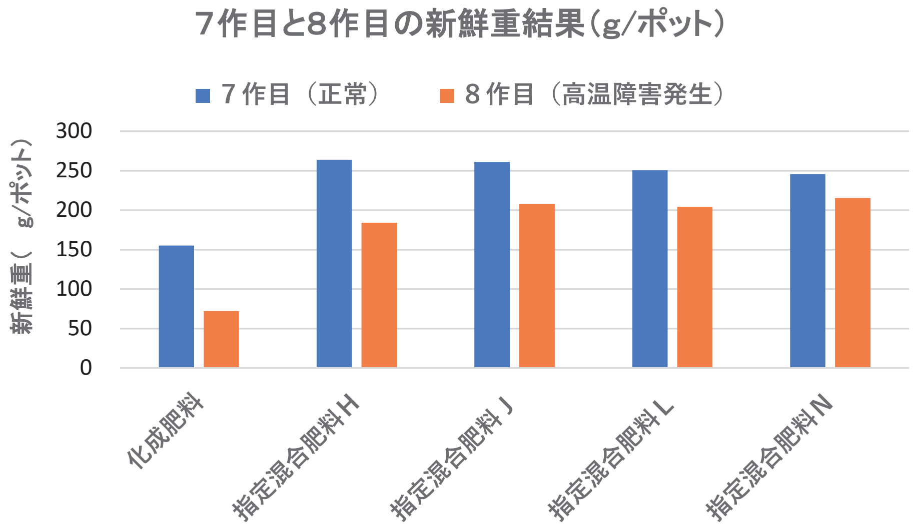


図 5-3　　7～8作ラディッシュの新鮮重の推移

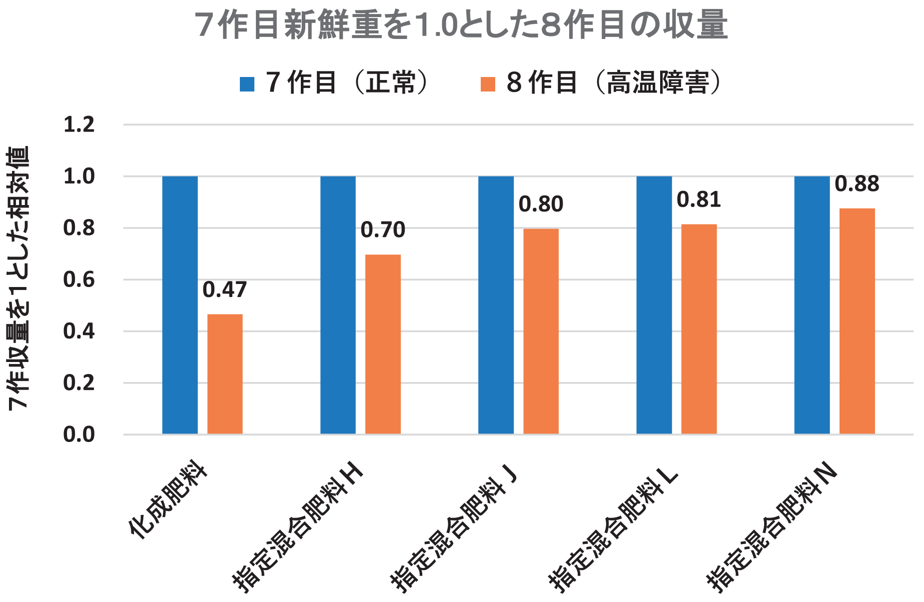


図 5-4　　7作と8作ラディッシュの収穫比較（高温障害による8作の減収比較）

7 作目　　　　指定混合肥料 H　　　　　8 作目

7 作目　　　　指定混合肥料 L　　　　8 作目

7 作目　　　　指定混合肥料 N　　　　8 作目

7 作目　　　　指定混合肥料 J　　　　8 作目

7 作目　　　　　化成肥料　　　　　8 作目

写真 5-2　ラディッシュ 7 作と 8 作の収穫調査時写真（撮影 7 作 5/28、8 作 7/28）

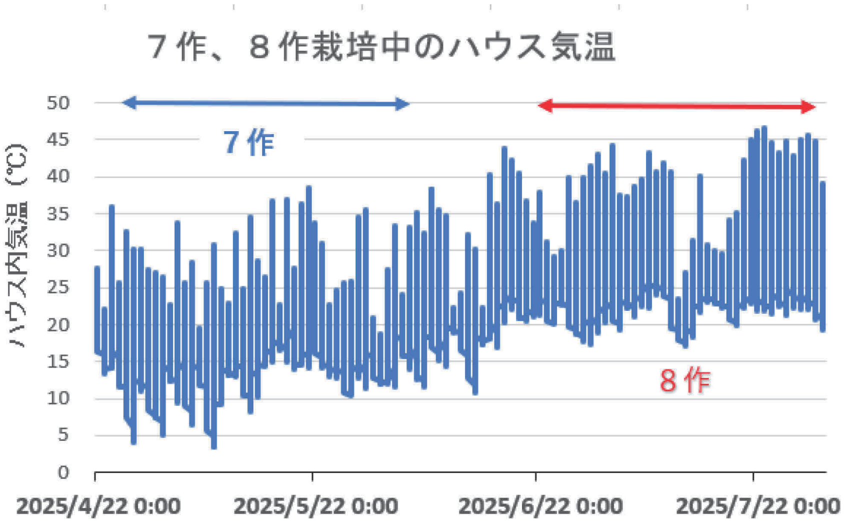


図 5-5　　７作と８作ラディッシュの栽培中のハウス気温（一時間間隔で計測）
７作栽培期間：4/24～5/28、最高 38.5℃、最低 3.4℃、平均気温 18.9℃、
８作栽培期間：6/23～7/28、最高 46.5℃、最低 17.2℃、平均気温 27.3℃

写真 5-3　　８作ラディッシュの栽培中に発生した高温障害写真（7/23 撮影）
注）葉の周辺が枯死し、カップリング症状を呈す、程度の差はあるがほぼ全ポットで発生）

表 5-19　　７作ラディッシュの成分濃度と吸収量の結果

肥料銘柄	成分濃度(乾物%)			成分吸収量(g/ポット)		
	窒素 N	リン酸 P_2O_5	カリ K_2O	窒素 N	リン酸 P_2O_5	カリ K_2O
化成肥料	4.5	0.8	7.0	0.44	0.08	0.68
指定混合肥料H	4.6	0.9	7.8	0.60	0.12	1.03
指定混合肥料J	4.5	0.9	8.4	0.57	0.11	1.08
指定混合肥料L	4.0	1.0	8.2	0.49	0.12	1.01
指定混合肥料N	4.4	0.9	9.0	0.57	0.12	1.18

（４）無肥料栽培した９作ラディッシュの生育・収量・養分吸収について

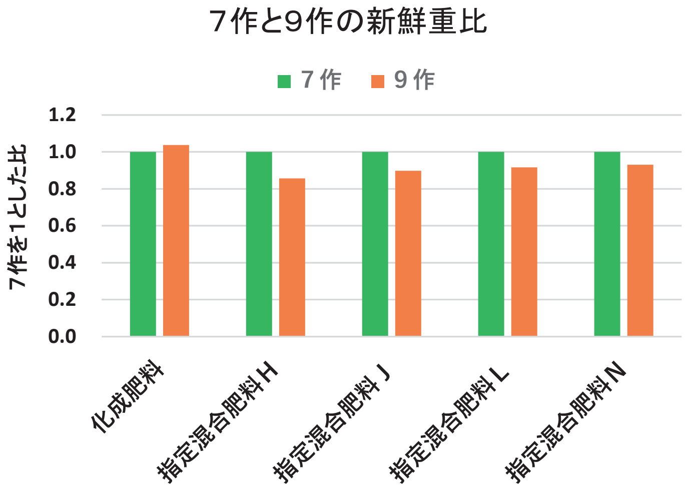
①８作までの連用に伴う残効を見るため、９作ラディッシュを無肥料で栽培しました。指定混合肥料区の新鮮重は化成肥料区を除いてほぼ差のない結果となり、根部も揃うなど想定外に良好な結果が得られました（表 5-18、図 5-6）。蓄積養分の総合的な地力増強の効果と推察されました。

②９作ラディッシュの肥料区の窒素濃度は化成肥料と同等かやや下回りましたが、窒素の吸収量は肥料区が化成肥料区を上回りました（図 5-7）。

表 5-18　　９作目無肥料で栽培したラディッシュの収穫調査結果

試験区	草丈 cm	葉数 枚	葉色 SPAD値	生重量 g/ポット	乾物重 g/ポット	乾物率 %	水分率 %	大根直径 mm
化成肥料	15.7	5.0	34	161	8.2	5.1	94.9	28
指定混合肥料H	19.4	5.7	32	226	11.1	4.9	95.1	32
指定混合肥料J	19.3	5.4	30	234	11.1	4.7	95.3	33
指定混合肥料L	18.3	5.6	31	230	11.6	5.1	94.9	34
指定混合肥料N	18.8	6.0	34	229	11.1	4.8	95.2	35

注）ポット当たり8株について調査した結果である。



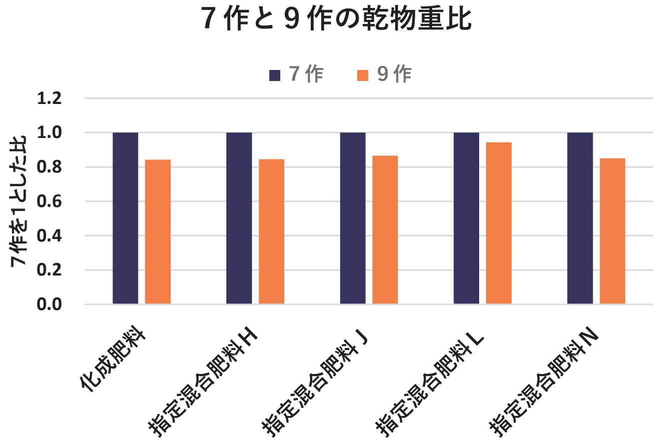


図 5-6　ラディッシュの７作（肥料施用、最高収量）と９作（無肥料）の生育量比較

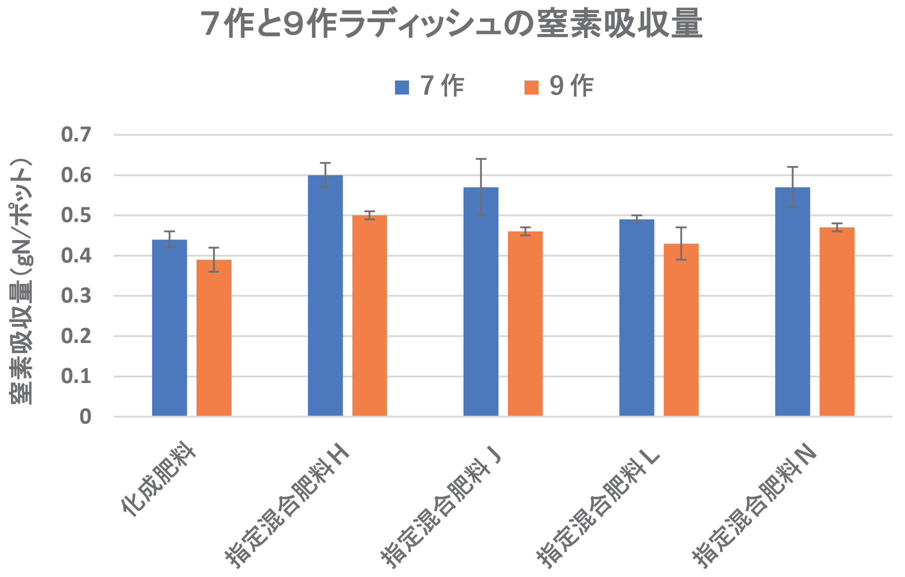


図 5-7　ラディッシュの７作（最高収量）と９作（無肥料）の窒素吸収量比較

（５）３年間の結果の小括

３年間の連用栽培試験の結果をまとめました。指定混合肥料の連用により土壌の地力増強に従い野菜も増収し、化学肥料の連用より優る結果が得られました。新鮮重の１～９作の累積結果は、指定混合肥料Ｊが最大となり、指定混合肥料Ｈ、指定混合肥料Ｌ、指定混合肥料Ｎと続き、化成肥料が最小となりました。また、土壌の地力増強に伴って野菜の気象災害リスクも軽減される可能性も示され、地力増強の重要性が検証できました。

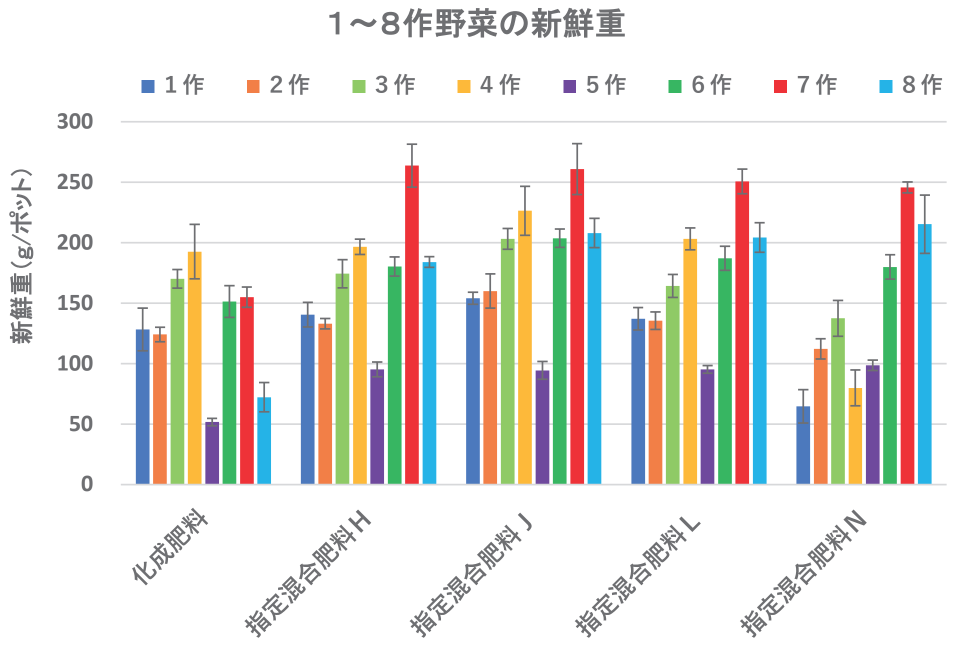


図 5-7　　１～８作野菜の新鮮重の推移

注）１～３作はラディッシュ、４作はコマツナ、５作はホウレンソウ、
　　６～８作はラディッシュ栽培

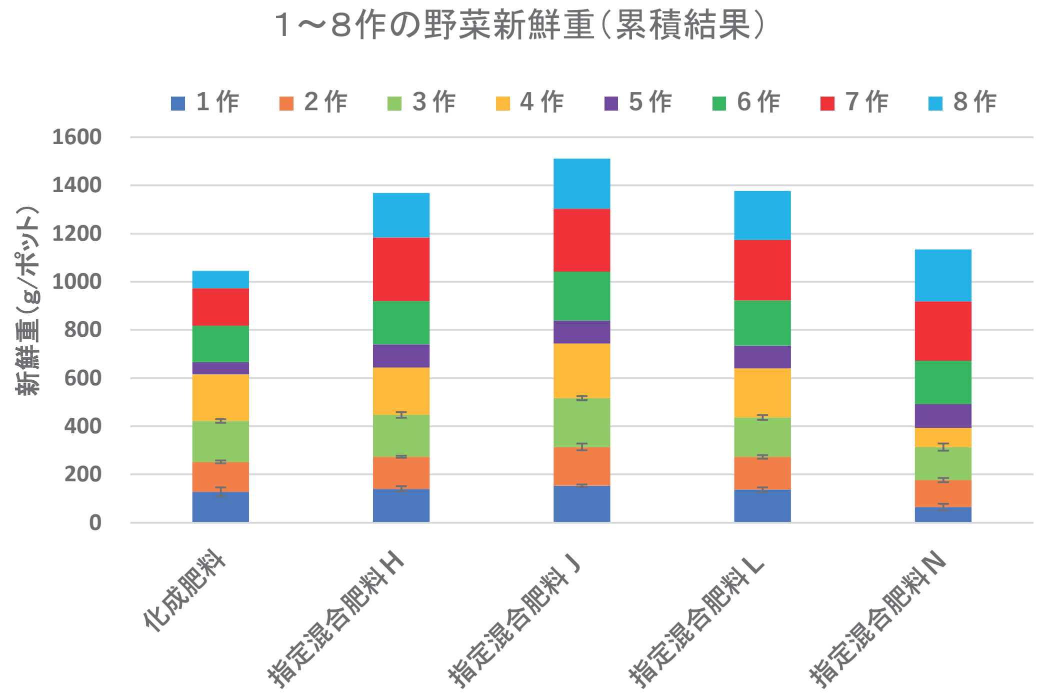


図 5-8　　１～８作野菜の新鮮重の累積結果

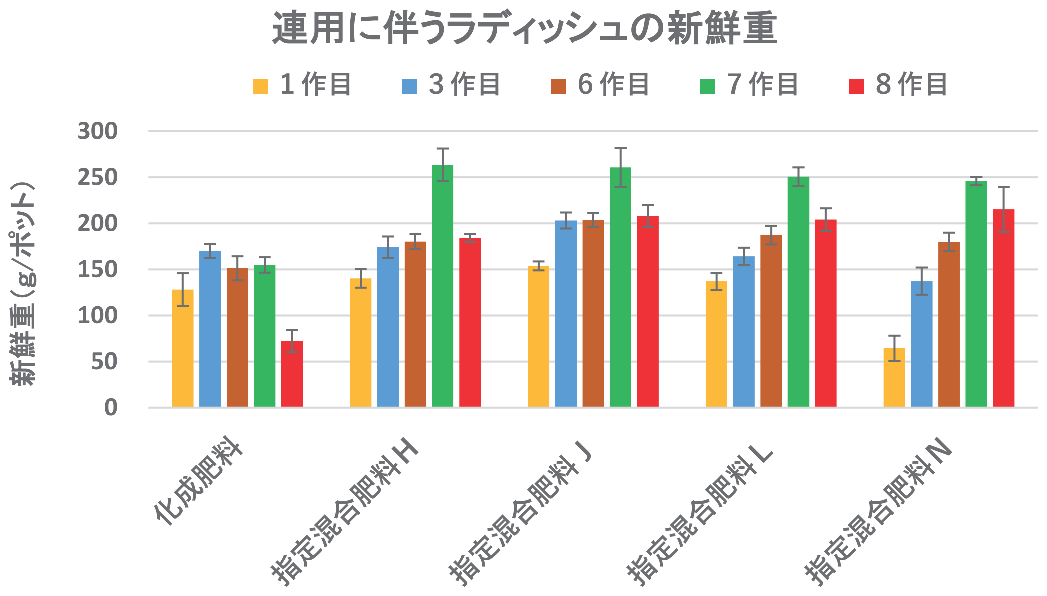


図 5-9　　連用に伴うラディッシュの新鮮重の推移

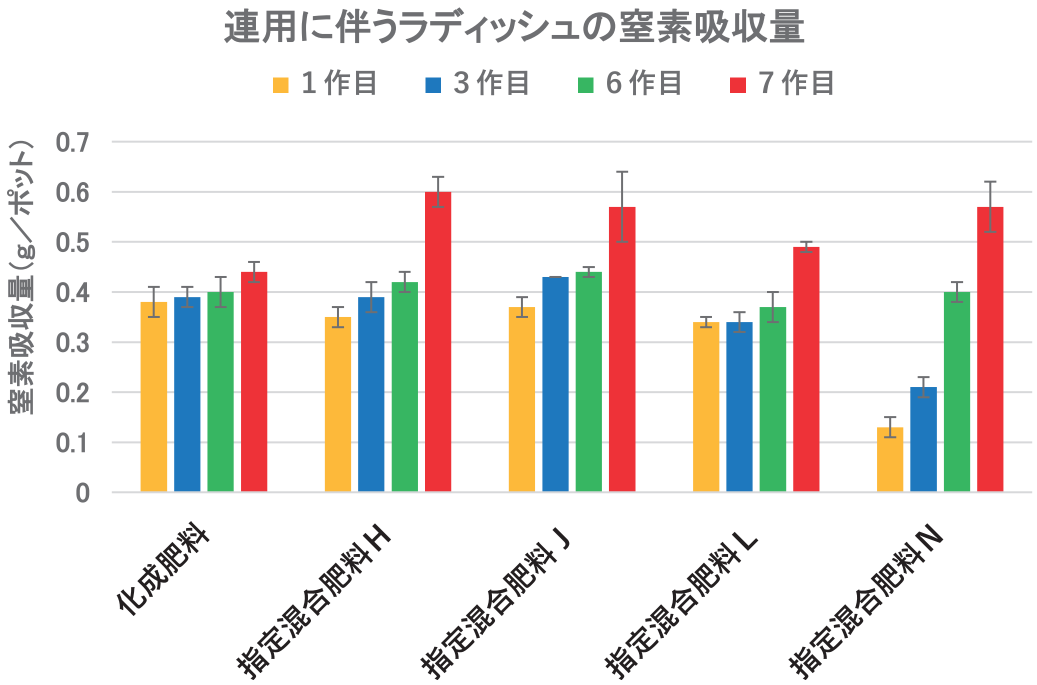


図 5-10　　肥料の連用に伴うラディッシュの窒素吸収量の推移

注）リン酸とカリの吸収量も同様な結果にて図は省略。

5）土壌地力の化学性要因の推移と増強効果の実証

（1） 1～3作ラディッシュ跡土

①3作跡土について化学性を測定しました。指定混合肥料 N は他の肥料に比べて塩基成分、とくに石灰の蓄積が認められ、それに伴って pH が顕著に上昇するとともに、有機物と窒素の蓄積も他の肥料よりも高い傾向がありました（表 5-21）。また、開始土壌から 3 作跡土にかけて可給態リン酸が急激に低下しました。可給態リン酸の低下の要因として土壌による固定、作物による吸収、水による流亡の 3 要因が挙げられます。ポット栽培での流亡は無視できるので、他の 2 要因について検討した結果、土壌による固定量が作物による吸収量に比べて遙かに大きいことが判明したので、低下の主要因は土壌による固定と推察しました（表 5-24）。3 作跡地土壌の無機態窒素はすべての肥料区で無機態窒素の蓄積が認められました （表 5-23）。

②1作と 3 作跡土の可給態窒素*2 を測定しました。肥料区の可給態窒素量はすべて化成肥料区より高く、土壌改良資材（泥炭）を含む肥料（指定混合肥料 N、指定混合肥料 J、指定混合肥料 L）が含まない肥料（指定混合肥料 H）よりも地力を高めました。中でも指定混合肥料 N の可給態窒素量が最も高く、指定混合肥料 L、指定混合肥料 J、指定混合肥料 H はほぼ横ばいとなりました。化成肥料の連用は地力を低下させました （表 5-22、図 5-11）。

表 5-21　　3 作跡土の化学性測定結果

項目	単位	福島県土壌改良目標値	開始土壌	ラディッシュ3作連用栽培跡地土壌				
				化成肥料	指定混合肥料H	指定混合肥料J	指定混合肥料L	指定混合肥料N
pH	H2O	6.0～6.5	6.1	5.3	5.4	5.7	5.8	6.5
EC	mS/cm	－	0.25	0.62	0.53	0.48	0.42	0.46
炭素	乾土%	－	3.4	2.7	3.1	3.5	3.0	3.7
有機物(腐植)		2以上	5.9	4.6	5.4	6.0	5.1	6.4
窒素		－	0.23	0.21	0.24	0.26	0.23	0.26
炭素窒素比	―	―	15	13	13	13	13	14
可給態リン酸	mg/100g乾土	20以上	10	6	4	6	3	3
石灰飽和度	%	50～70	15	28	26	17	19	33
苦土飽和度		15～20	8	8	8	9	10	13
加里飽和度		2～10	2	3	4	4	5	6
塩基飽和度		70～90	25	39	38	31	34	52
CEC	meq/100g乾土	15以上	34	34	35	37	34	37
石灰/苦土比	当量比	6以下	2.0	3.6	3.2	1.8	1.8	2.5
苦土/加里比		2以上	4.4	2.3	2.3	2.1	2.2	2.3
交換性石灰	mg/100g乾土	－	145	266	256	177	182	336
交換性苦土		－	53	53	57	70	72	97
交換性加里		－	29	53	58	77	76	98

注)結果は3反復の平均値

表 5-22　　1 ～ 3 作跡土の可給態窒素の測定結果

試験区	可給態窒素量（mgN/100g乾土）		
	栽培開始土壌	1 作跡地土壌	3 作跡地土壌
化成肥料	3.0±0.3	2.6±0.4	1.4±0.6
指定混合肥料Ｈ	3.0±0.3	2.6±0.4	2.7±0.2
指定混合肥料Ｊ	3.0±0.3	3.4±0.6	3.1±0.3
指定混合肥料Ｌ	3.0±0.3	3.1±0.3	3.1±0.5
指定混合肥料Ｎ	3.0±0.3	3.8±0.4	5.7±0.4

注）数値は 3 反復の平均値±標準偏差

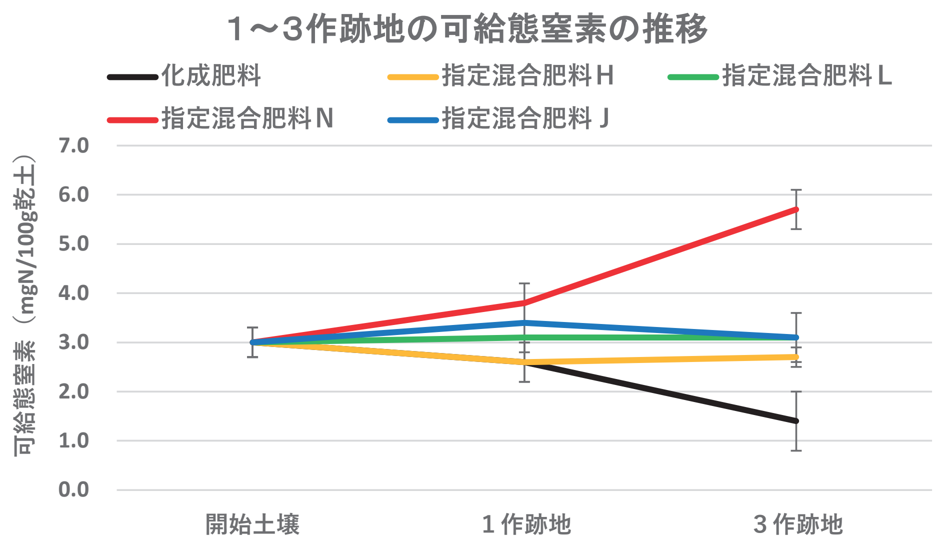


図 5-11　　肥料の連用による土壌の可給態窒素量増強効果（１～３作）

表 5-23　　ポット栽培跡土の無機態窒素の推移（１～３作）

試験区	栽培開始土壌			1作跡地土壌			3作跡地土壌		
	NH_4-N	NO_3-N	合計量	NH_4-N	NO_3-N	合計量	NH_4-N	NO_3-N	合計量
化成肥料	0.7	0.9	1.6	3.1	10.2	13.3	1.9	24.3	26.2
指定混合肥料H	0.7	0.9	1.6	3.1	9.8	12.9	1.8	19.8	21.6
指定混合肥料J	0.7	0.9	1.6	1.5	9.7	11.3	1.9	18.3	20.2
指定混合肥料L	0.7	0.9	1.6	1.4	3.0	4.4	1.8	7.7	9.5
指定混合肥料N	0.7	0.9	1.6	0.7	0.8	1.4	1.4	2.4	3.7

注）数値は3反復の平均値で単位はmgN/100g乾土である。

表 5-24　　施用したリン酸肥料の土壌による固定量と作物による吸収量の比較
（１～３作跡土の測定結果の比較）

項目	ポット栽培でのリン酸量（g）	算出のための基礎データ
土壌によるリン酸固定量	50.7	土壌のリン酸吸収係数 16.9 gP2O5/土壌kg
コマツナによるリン酸吸収量 1作当たり	0.24	コマツナの乾物収量 ポット当たり20g（8株） コマツナのリン酸含有率 乾物当たり1.2%

注）ポット栽培における土壌量は3.0kgとした

（２）４～６作コマツナ、ホウレンソウ、ラディッシュ跡土

①５作跡土の化学性を測定しました。肥料の連用回数を重ねるにつれて土壌の有機物、窒素、可給態リン酸、塩基飽和度は上昇傾向を示し、養分の蓄積傾向が認められました（表 5-25、図 5-14）。中でも有機物と窒素は、指定混合肥料Ｎや指定混合肥料Ｊで明らかに上昇しました。可給態リン酸は前半の３作では土壌による固定で低下しましたが、５作跡土では３作跡土より高まる傾向を示しました。３作以降、交換性塩基の蓄積が進み、５作跡土の塩基飽和度は確実に上昇しました。指定混合肥料 N を除く肥料の塩基飽和度と塩基バランスはほぼ適正な範囲にありましたが、指定混合肥料Ｎは 100%に近くなりました。

②連用による４～６作の可給態窒素量の推移を表 5-26 と図 5-12 に示しました。肥料区の可給態窒素量はすべて化成肥料区より高く、中でも土壌改良資材（泥炭）を含む肥料（指定混合肥料 N、指定混合肥料 J、指定混合肥料 L）が含まない肥料（指定混合肥料 H)よりも可給態窒素を高めました。この結果は１～３作の結果と同じでした。指定混合肥料 N は連用に伴い可給態窒素量、土壌の有機物量と窒素量が増えましたが、施用量を減らした５作では可給態窒素が低下しました。５～６作では指定混合肥料 L、指定混合肥料 J、指定混合肥料 H は増強効果が指定混合肥料Ｎより低いですが、上昇傾向を示しました。化成肥料の連用は１～３作地力を低下させましたが、４作と５作では横ばい状態で推移しました。

③ポット栽培跡土の無機態窒素の推移を表 5-27 に示しました。跡土への無機態窒素の蓄積は、普通肥料を含まない肥料（指定混合肥料Ｌと指定混合肥料 N）の方が、含む

肥料（指定混合肥料Ｈと指定混合肥料Ｊ）よりも少なくなりました。

表 5-25　　5作跡土の化学性測定結果

項目	単位	福島県土壌改良目標値	開始土壌	連用5作跡地土壌				
				化成肥料	指定混合肥料H	指定混合肥料J	指定混合肥料L	指定混合肥料N
pH	H2O	6.0～6.5	6.1	5.5	5.7	6.2	6.0	6.8
EC	mS/cm	－	0.25	1.67	1.10	0.58	0.69	0.87
炭素	乾土%	－	3.4	2.6	3.1	3.7	3.1	4.2
有機物（腐植）	乾土%	2以上	5.9	4.5	5.3	6.4	5.4	7.3
窒素	乾土%	－	0.23	0.21	0.22	0.27	0.23	0.29
炭素窒素比	―	―	15	12	14	14	14	14
可給態リン酸	mg/100g乾土	20以上	10	6	5	8	4	4
石灰飽和度	%	50～70	15	48	48	35	39	64
苦土飽和度	%	15～20	8	11	12	15	17	23
加里飽和度	%	2～10	2	3	3	5	4	8
塩基飽和度	%	70～90	25	63	62	55	60	95
CEC	meq/100g乾土	15以上	34	30	29	28	28	30
石灰/苦土比	当量比	6以下	2.0	4.3	4.0	2.3	2.4	2.8
苦土/加里比	当量比	2以上	4.4	3.6	4.3	3.4	4.3	2.7
交換性石灰	mg/100g乾土	－	145	406	38	280	308	541
交換性苦土	mg/100g乾土	－	53	67	69	87	93	138
交換性加里	mg/100g乾土	－	29	44	37	60	51	120

注）結果は3反復の平均値

表 5-26　　4～6作跡土の可給態窒素の測定結果（分析点数３）

試験区	可給態窒素量（mgN/100g乾土）		
	4作跡地土壌	5作跡地土壌	6作跡地土壌
化成肥料	1.3±0.8	1.4±0.2	1.1±0.7
指定混合肥料Ｈ	2.0±0.3	2.5±0.2	2.6±0.4
指定混合肥料Ｊ	3.0±0.4	3.3±0.5	4.6±0.2
指定混合肥料Ｌ	3.4±0.2	3.7±0.5	3.9±0.5
指定混合肥料Ｎ	5.6±0.8	3.5±0.4	6.1±0.2

注）数値は３反復の平均値±標準偏差

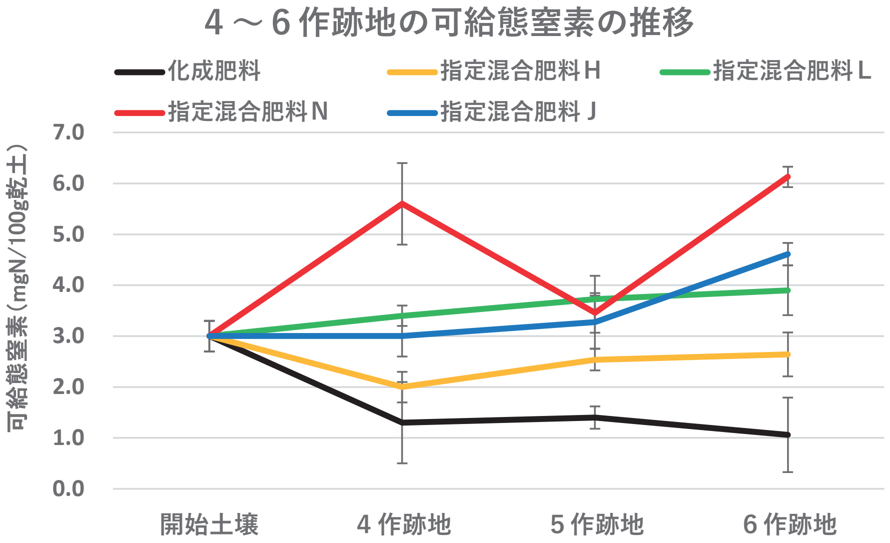


図 5-12　　肥料の連用による土壌の可給態窒素量増強効果（4～6作）

表 5-27　ポット栽培跡土の無機態窒素の推移（4～6作）

試験区	4作跡地土壌			5作跡地土壌			6作跡地土壌		
	NH_4-N	NO_3-N	合計量	NH_4-N	NO_3-N	合計量	NH_4-N	NO_3-N	合計量
化成肥料	3.3	13.7	17.0	1.0	29.4	30.5	0.7	30.9	31.6
指定混合肥料H	3.1	13.4	16.5	0.7	15.8	16.5	0.8	16.4	17.3
指定混合肥料J	2.4	10.2	12.6	0.8	11.8	12.7	1.1	15.1	16.1
指定混合肥料L	2.4	3.1	5.5	0.7	3.9	4.6	1.0	3.8	4.8
指定混合肥料N	1.7	1.4	3.2	0.7	9.0	9.7	0.8	8.7	9.5

注）数値は3反復の平均値で単位はmgN/100g乾土である。

（3） 7～8作ラディッシュ跡土

①7作跡土の化学性を測定しました。肥料の連用により5作跡土よりも土壌の有機物、窒素、可給態リン酸、塩基飽和度は上昇傾向を示し、さらに養分の蓄積が認められました（表 5-28、図 5-15）。中でも有機物と窒素は、指定混合肥料Nや指定混合肥料Jで明らかに上昇しました。7作跡土の可給態リン酸は5作と6作にリン酸肥料を補給したことと、有機物の蓄積によりリン酸の土壌固定が抑制された効果から5作跡土よりかなり高まりました。7作跡土の塩基飽和度について、指定混合肥料 N を除く肥料は適正な範囲にありましたが、指定混合肥料Nは100%を超えました。指定混合肥料 N では連用すると塩基類集積の可能性があるため施用量に注意する必要があります。

②土壌の有機物、窒素成分のさらなる蓄積により地力の重要な要因である可給態窒素も明らかに上昇しました。7作と8作の可給態窒素は横ばいか、やや低下傾向を示しましたが、指定混合肥料Nは開始土壌（3mgN/100g乾土）のほぼ2倍、指定混合肥料Jはほぼ1.5倍、指定混合肥料Lはほぼ1.3倍と増強効果が認められました。指定混合肥料Hはほぼ1.0倍で、地力の維持効果が認められました（表 5-29、図 5-13、図 5-16）。指定混合肥料と違って化成肥料のみでは地力の維持はできませんでした。こ

のように、肥料に混合されている堆肥の種類、品質、連用の回数により効果の大きさは異なりますが、指定混合肥料による土壌の地力維持増強を実証できました。

③指定混合肥料による跡地土壌への無機態窒素の蓄積は、８作までは４～６作と同じように銘柄による差もみられますが、化成肥料に比べてかなり少なくなりました（表5-30、図 5-17）。

表 5-28　　7 作跡土の化学性分析結果（分析点数は各試験区とも３である）

項目	単位	福島県土壌改良目標値	開始土壌	連用7作跡地土壌				
				化成肥料	指定混合肥料H	指定混合肥料J	指定混合肥料L	指定混合肥料N
pH	H2O	6.0～6.5	6.1	4.9	5.3	6.0	6.0	6.8
EC	mS/cm	－	0.25	1.93	1.57	0.73	0.81	1.4
炭素	乾土%	－	3.4	2.7	3.2	3.7	3.3	4.4
有機物（腐植）		2以上	5.9	4.6	5.5	6.4	5.6	7.6
窒素		－	0.23	0.23	0.23	0.28	0.25	0.29
炭素窒素比	ー	ー	15	12	14	13	13	15
可給態リン酸	mg/100g乾土	20以上	10	9	9	13	8	12
石灰飽和度	%	50～70	15	51	56	42	39	82
苦土飽和度		15～20	8	9	12	19	16	27
加里飽和度		2～10	2	4	4	6	5	8
塩基飽和度		70～90	25	64	72	66	60	117
CEC	meq/100g乾土	15以上	34	30	30	26	30	30
石灰/苦土比	当量比	6以下	2.0	5.5	4.6	2.3	2.4	3.0
苦土/加里比		2以上	4.4	2.2	3.4	3.0	3.2	3.3
交換性石灰	mg/100g乾土	－	145	420	466	308	322	686
交換性苦土		－	53	55	73	98	96	164
交換性加里		－	29	59	50	76	70	117

注）結果は3反復の平均値

表 5-29　　7 ～ 8 作跡土の可給態窒素の測定結果

試験区	可給態窒素量（mgN/100g乾土）	
	7 作跡地土壌	8 作跡地土壌
化成肥料	1.5±0.4	1.3±0.4
指定混合肥料Ｈ	2.9±0.4	2.7±0.4
指定混合肥料Ｊ	4.8±0.2	4.4±0.2
指定混合肥料Ｌ	3.8±0.2	3.2±0.2
指定混合肥料Ｎ	5.4±0.0	5.5±0.0

注）数値は３反復の平均値±標準偏差

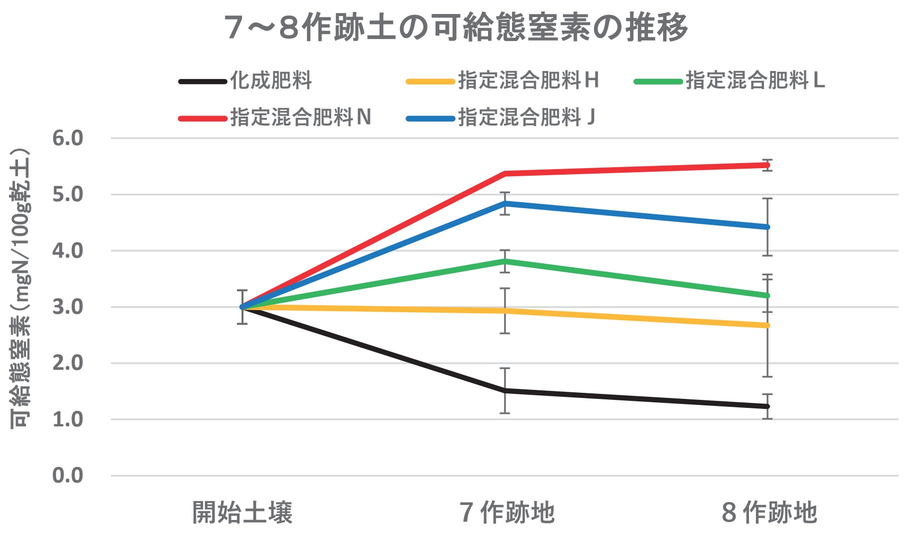


図 5-13　肥料の連用による土壌の可給態窒素量増強効果（７～８作跡土）

表 5-30　ポット栽培跡土の無機態窒素の推移（７～８作）

試験区	7作跡地土壌			8作跡地土壌		
	NH_4-N	NO_3-N	合計量	NH_4-N	NO_3-N	合計量
化成肥料	0.9	30.5	31.4	1.4	43.0	44.5
指定混合肥料H	0.9	16.7	17.6	1.6	14.8	16.5
指定混合肥料J	1.0	12.7	13.7	1.8	12.0	13.8
指定混合肥料L	1.0	2.6	3.6	1.6	3.8	5.4
指定混合肥料N	1.0	6.1	7.0	1.7	6.1	7.8

注）数値はmgN/100g乾土で、3反復の平均値

（４）９作ラディッシュ跡土

無肥料栽培した９作跡土の炭素と窒素の落ち込みは化成肥料ほど大きくありませんでしたが、可給態窒素は大きく低下しました。土壌地力の維持増強のためには連続的な肥料の連用が必要と考えられました（表 5-31～33、図 5-14）。

表 5-31　９作跡土の可給態窒素

試験区	可給態窒素量（mgN/100g乾土）
	9作跡地土壌
化成肥料	0.1±0.1
指定混合肥料Ｈ	1.5±0.2
指定混合肥料Ｊ	1.6±0.1
指定混合肥料Ｌ	1.6±0.1
指定混合肥料Ｎ	2.4±0.1

注）数値は3反復の平均値±標準偏差

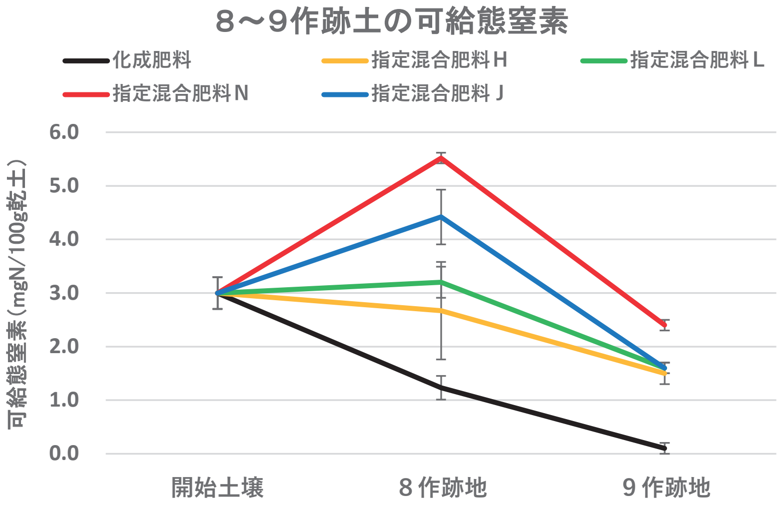


図 5-14　肥料の連用による土壌の可給態窒素量増強効果（８～９作跡土）

表 5-32　　無肥料で栽培した９作跡土の炭素、窒素定結果

試験区	9作跡土		7作跡土を1とした比		参考（7作跡土）	
	炭素	窒素	炭素	窒素	炭素	窒素
	乾土%				乾土%	
化成肥料	2.3	0.22	0.86	0.96	2.7	0.23
指定混合肥料H	3.1	0.24	0.97	1.04	3.2	0.23
指定混合肥料J	3.9	0.29	1.06	1.05	3.7	0.28
指定混合肥料L	3.9	0.29	1.17	1.17	3.3	0.25
指定混合肥料N	4.8	0.33	1.10	1.15	4.4	0.29

表 5-33　　９作跡土の無機態窒素

試験区	9作跡地土壌		
	NH_4-N	NO_3-N	合計量
化成肥料	0.3	19.4	19.7
指定混合肥料H	0.2	1.4	1.6
指定混合肥料J	0.2	1.6	1.8
指定混合肥料L	0.3	0.7	1.0
指定混合肥料N	0.3	0.8	1.1

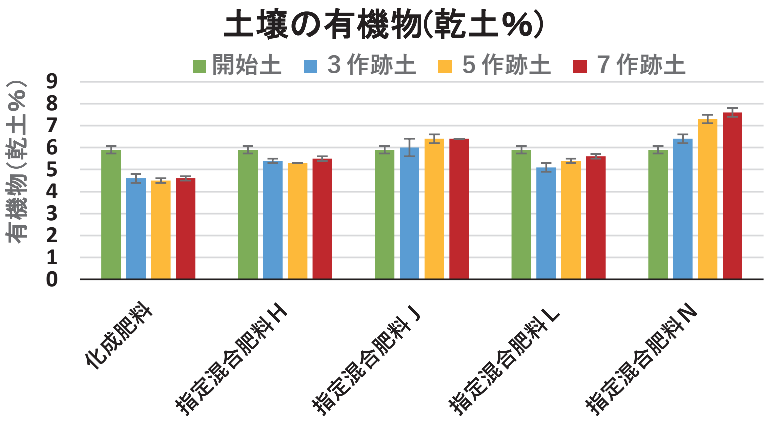
注）数値はmgN/100g乾土で、3反復の平均値

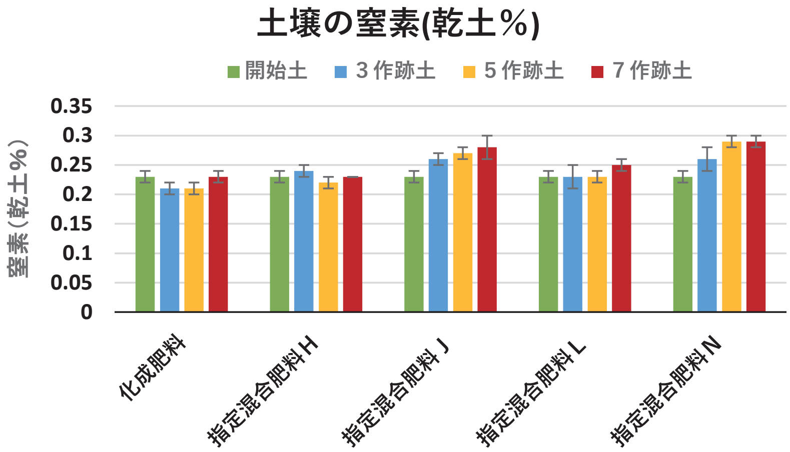
（５）３年間の結果の小括

①指定混合肥料の連用により土壌の地力項目（化学性成分と可給態窒素）は確実に高まることを明らかにしました。連用を重ねるにつれて土壌の有機物、窒素含有率は高まり、蓄積が認められ、その効果の高い肥料は堆肥と土壌改良資材（泥炭）の含まれている指定混合肥料Ｎ、指定混合肥料Ｊでした、一方、指定混合肥料Ｌと指定混合肥料Ｈは可給態窒素の維持効果が認められました。ただ、指定混合肥料Ｎでは連用すると塩類が蓄積する可能性がありますので、施用量に注意する必要があります。

②連用に伴う有機物、窒素の蓄積効果により地力の重要な要因である可給態窒素も上昇しました。８作の連用において、指定混合肥料Ｎでは開始土壌（3mgN/100g 乾土）

のほぼ２倍、指定混合肥料 J ではほぼ 1.5 倍、指定混合肥料 L ではほぼ 1.3 倍と高くなりました。堆肥と化学肥料の混合肥料である指定混合肥料 H は開始土壌とほぼ横ばいの値で推移しており、地力は低下せず、可給態窒素の維持効果が認められました。また無機態窒素の蓄積は、化成肥料に比べてかなり少ないことを明らかにしました。指定混合肥料と違って化成肥料のみでは地力が維持できませんでした。





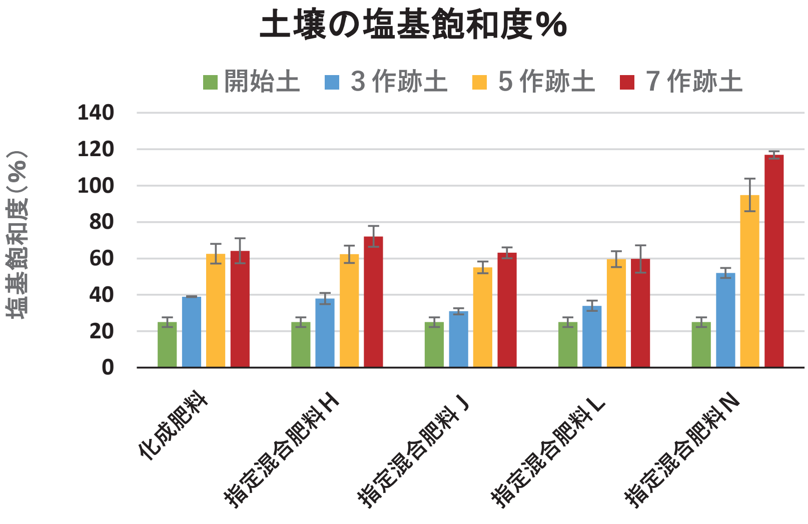


図 5-15　肥料の連用に伴う土壌の化学性（上から有機物、窒素、塩基飽和度）の推移

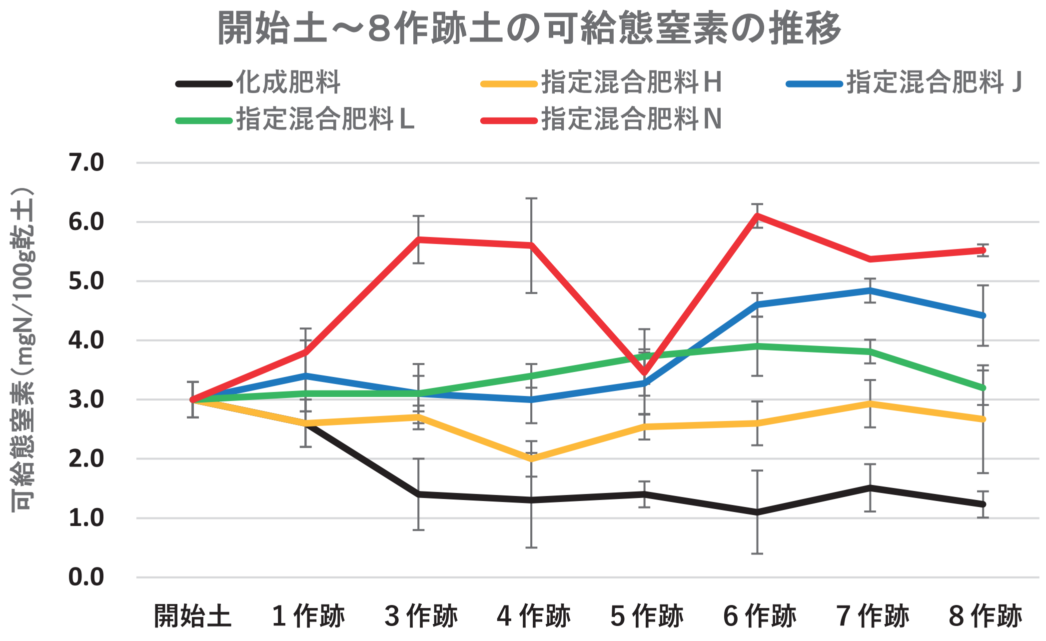


図 5-16　　肥料の連用による土壌の可給態窒素量増強効果（1～8作）

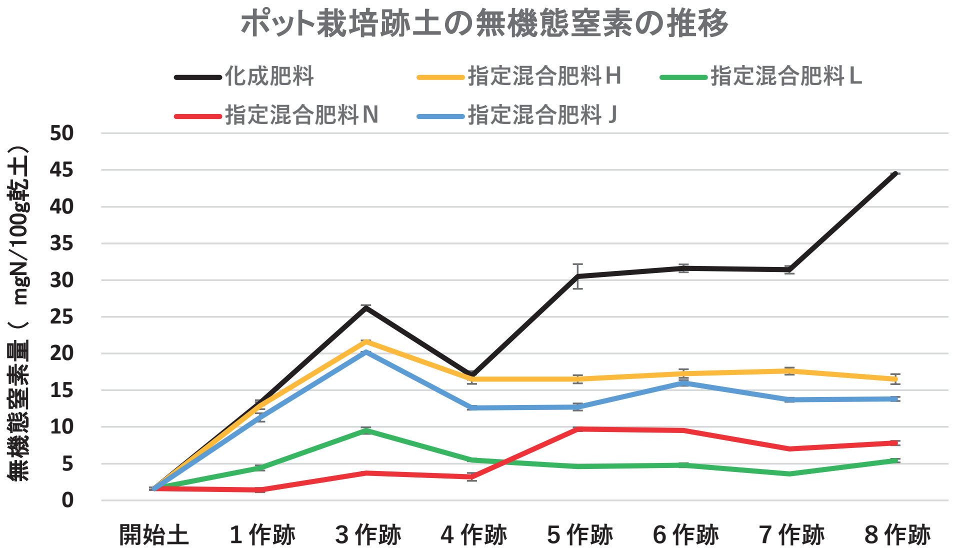


図 5-17　　ポット栽培跡土の無機態窒素の推移（開始土～8作）

6）まとめ

（1）指定混合肥料の連用により土壌の地力項目（化学性成分や可給態窒素）は確実に高まることを実証しました。化学成分の中で土壌の有機物、窒素含有率は確実に高まり、蓄積が認められること、その効果の高い肥料は、堆肥と土壌改良資材（泥炭）の含まれている指定混合肥料Nと指定混合肥料Jであり、一方、指定混合肥料Lと指定混合肥料Hは可給態窒素の維持効果が認められました。

（2）ただ、指定混合肥料Nでは地力増強に効果があるとして多量に施用しすぎると、土壌の化学性の悪化を招く恐れもありますので、連用を続ける場合には、数年に一度

は土壌診断を実施して土壌化学性の性状を確認すること、施肥基準量や肥料メーカーの推奨する施用量にとどめることが重要です。

（３）連用に伴う有機物、窒素の蓄積効果により地力の重要な要因である可給態窒素も上昇することを実証しました。８作の連用後、指定混合肥料 N では開始土壌（3mgN/100g 乾土）のほぼ２倍、指定混合肥料Ｊではほぼ 1.5 倍、指定混合肥料Ｌではほぼ 1.3 倍と高くなりました。堆肥と化学肥料の混合肥料である指定混合肥料 H は開始土壌とほぼ同等の値で推移しており、地力は低下せず、維持できていることが認められました。また無機態窒素の蓄積は、化成肥料に比べてかなり少ないことが分かりました。指定混合肥料と違って化成肥料のみでは地力が維持できませんでした。

（４）９作の無肥料栽培の結果、土壌の可給態窒素はほぼ同じように低下することが分かりました。このことを踏まえ、土壌の地力、とくに可給態窒素を維持するためには堆肥を含む指定混合肥料、あるいは堆肥などの有機物を適正に使用し続けることが重要です。

（５）土壌の地力増強に伴って作物も増収し、それに伴い養分吸収量も上昇することを実証しました。また、土壌の地力増強に伴って野菜の気象災害リスクも軽減される効果のあることも明らかにし、地力増強の重要性が検証できました。

（６）このように、肥料に混合されている堆肥の種類、品質、連用の回数と土壌の地力増強効果を実証するとともに、野菜の生育・収量性、気象災害軽減効果の可能性なども加味した総合的な地力増強の重要性が認められました。

用語説明

＊2　可給態窒素

土壌中窒素のうち、微生物の働きによって分解され、作物が吸収可能な無機態窒素（アンモニア態や硝酸態窒素）に変換される有機態窒素をいう。地力窒素とも呼ばれ、土壌肥沃度の重要な指標であります。

６．指定混合肥料の窒素肥効特性について

ポイント

指定混合肥料の適正利用へ向けて、窒素、リン酸、カリの肥効特性を明らかにするために、温度別の培養試験による窒素肥効や化学分析によるリン酸とカリの肥効について検討しました。

１）収集した市販の指定混合肥料＊[1]について

（１）供試した 20 銘柄の指定混合肥料

本事業では特殊肥料（家畜ふん堆肥）と土壌改良資材が混合されている肥料を対象としましたが、そのうち指定混合肥料 20 銘柄を収集しました。写真 6-1 に現物写真を示しました。

市販品の中から収集しました肥料銘柄は、指定混合肥料 A、指定混合肥料 E、指定混合肥料 D、指定混合肥料 C、指定混合肥料 I、指定混合肥料 H、指定混合肥料 F、指定混合肥料 G、指定混合肥料 B、牛 CN11 混合肥料、牛 CN20 混合肥料、牛 CN23 混合肥料、指定混合肥料 K、指定混合肥料 M、指定混合肥料 J、指定混合肥料 L、指定混合肥料 O、指定混合肥料 N、指定混合肥料 P、指定混合肥料 Q です。

これらの肥料について、成分分析、温度３段階による培養試験を行い、窒素無機化特性値＊[3]を把握しました。次に特性値を用いて窒素無機化量を推定し、得られた結果から肥料を４つのグループに分類しました。それらの結果について以後説明していきます。

注意事項：上述しました肥料について注意していただきたい点があります。

上記肥料は、国内での販売地域はメーカーによって異なります。販売地域が限定されていたり、一部地域では取り扱いのない場合もありますので、ご希望の肥料を購入したい場合には肥料メーカーやＪＡ等に問い合わせて下さい。

（２）肥料形状について

市販されている指定混合肥料の製品形状はペレットタイプ、粒状タイプ、アグレットタイプの３種類があります。下記の現物写真を参考にして下さい。下記写真の 16 と 17 がアグレットタイプ、９が粒状タイプ、その他の肥料はペレットタイプです。

1

2

3

4

5

写真 6-1　指定混合肥料の現物写真（肥料銘柄名の番号は下記参照）
１：指定混合肥料 A、２：指定混合肥料 E、３：指定混合肥料 D、
４：指定混合肥料 C、５：指定混合肥料 I、６：指定混合肥料 H、７：指定混合肥料 F、
８：指定混合肥料 G、９：指定混合肥料 B、10：牛 CN11 混合肥料、11：牛 CN20 混合肥料、
12：牛 CN23 混合肥料、13：指定混合肥料 K、14：指定混合肥料 M、15：指定混合肥料 J、
16：指定混合肥料 L、17：指定混合肥料 O、18：指定混合肥料 N、19：指定混合肥料 P、
20：指定混合肥料 Q

（３）成分分析結果

収集した肥料について、分析用サンプルを調製したのち成分分析を行いました。分析については畜産環境技術研究所の堆肥分析システムを利用しました。すなわち、乾燥・粉砕・微粉砕した分析試料について、炭素と窒素はＣＮコーダーで、リン酸、カリ、石灰、苦土はマイクロ波式湿式分解装置で酸分解したのち ICP 発光分析装置（島津）にて測定しました。アンモニア態は 0.1 モル塩酸で抽出し、比色法（インドフェノールブルー法）にて測定しました。く溶性リン酸とカリは２％クエン酸で抽出したあと、ICP 分析装置にて測定しました。なお、窒素肥効率は、窒素無機化特性値＊2 を用いて、地温 25℃における 90 日の窒素無機化率から推定しました。リン酸とカリの肥効率は、く溶性画分の濃度が全濃度に占める割合（く溶率）から推定しました。

分析結果を表 6-1-1～表 6-4-1 に示しました。併せて肥料袋に記載されている保証票情報も表 6-1-2～表 6-4-2 に示しました。

用語解説

＊１　指定混合肥料

登録済みの普通肥料や特殊肥料、指定された土壌改良資材などを混ぜ合わせて作られ、届け出だけで生産・販売が可能な肥料をいう。作物の養分特性に合わせた配合が可能で、堆肥の利用拡大や土壌改良などのメリットを有します。

＊３　窒素無機化特性値

窒素無機化特性値とは、土壌や有機質肥料などに含まれる有機態の窒素が微生物により分解されて、作物が吸収できる無機態窒素（アンモニア態窒素や硝酸態窒素）へと変化する割合や速度を数値化したものです。

表 6-1-１　グループ１に属する肥料の成分分析結果

項目		指定混合肥料A	指定混合肥料B	指定混合肥料C	指定混合肥料D	指定混合肥料E	指定混合肥料F	指定混合肥料G
成分値	N-P_2O_5-K_2O	12-5-10	8-8-5	12-6-6	12-6-4	12-5-5	10-10-10	12-3-6
混合堆肥		豚ふん	牛ふん堆肥	豚ふん	豚ふん	鶏ふん	牛・豚堆肥	牛ふん堆肥
水分	現物%	7.5	4.1	7.1	5.6	5.9	4.9	6.7
pH		6.8	6.9	7.1	7.1	7.1	6.8	6.8
EC	mS/cm	78	59	68	68	69	59	67
窒素	乾物%	13.4	8.2	12.1	12.0	12.1	10.5	12.1
アンモニア性窒素	乾物%	9.4	6.0	11.0	11.2	9.4	8.2	10.2
アンモニアN/窒素	%	70	73	91	93	78	78	84
炭素	乾物%	13	13.2	15	19	15	15.3	16.2
炭素窒素比		1.0	1.6	1.2	1.6	1.3	1.5	1.3
リン酸	乾物%	5.0	8.0	6.0	6.0	5.0	10.0	3.4
く溶性リン酸	乾物%	5.4	6.6	5.4	5.2	4.4	9.0	3.0
カリ	乾物%	10	5.0	6.0	4.0	5.0	10.0	6.0
く溶性カリ	乾物%	9.5	3.0	5.4	2.4	4.5	9.5	5.9
石灰	乾物%	3.2	4.7	2.3	1.7	4.2	2.5	3.1
苦土	乾物%	1.5	3.4	1.2	1.0	1.2	1.1	1.4
推定肥効率%	窒素	100	100	99	98	97	94	93
	リン酸	88	83	90	87	88	90	88
	カリ	95	90	90	89	90	95	98

注）窒素の推定肥効率は窒素無機化特性値を用いた25℃90日の窒素無機化率より、リン酸とカリの推定肥効率は2%クエン酸によるく溶率より求めた。

表 6-1-2　肥料袋の保証票における混合材料と割合に関する情報（グループ１）

混合材料と割合	銘柄名	指定混合肥料A	指定混合肥料B	指定混合肥料C	指定混合肥料D	指定混合肥料E	指定混合肥料F	指定混合肥料G
	堆肥	豚堆肥	牛堆肥	豚堆肥	豚堆肥	鶏堆肥	牛・豚堆肥	牛堆肥
普通肥料割合	%	70	60	65	65	55	60	70
特殊肥料割合	%	30	40	35	35	45	40	30
土壌改良資材割合	%	0	0	0	0	0	0	0
普通肥料	多い順	尿素	尿素	尿素	尿素	尿素	尿素	尿素
特殊肥料	多い順	豚ふん堆肥	牛ふん堆肥	豚ふん堆肥	豚ふん堆肥	鶏ふん堆肥	牛ふん堆肥	牛ふん堆肥
		米ぬか	乾燥菌体肥料	米ぬか	米ぬか	米ぬか	米ぬか	米ぬか
土壌改良資材								

表 6-2-1　グループ２に属する肥料の成分分析結果

項目		指定混合肥料H	指定混合肥料I	牛CN11混合肥料	牛CN20混合肥料	牛CN23混合肥料
成分値	N-P_2O_5-K_2O	12-3.4-6	10-3-6	6-5-5	6-5-5	6-5-5
混合堆肥		牛・鶏堆肥	鶏堆肥	CN11牛堆肥	CN20牛堆肥	CN23牛堆肥
水分	現物%	5.4	8.7	5.9	5.5	6.3
pH		7.2	7.4	6.4	6.2	6.4
EC	mS/cm	65	53.2	19	15	17
窒素	乾物%	12.5	10.6	6.0	6.1	6.2
アンモニア性窒素	乾物%	10.0	6.4	2.0	2.1	2.2
アンモニアN/窒素	%	80	60	33	34	35
炭素	乾物%	16.8	22	28.6	32.8	32.5
炭素窒素比		1.3	2.0	4.8	5.4	5.2
リン酸	乾物%	3.4	3.0	5.0	5.0	5.0
く溶性リン酸	乾物%	3.0	2.6	3.8	3.8	3.8
カリ	乾物%	6.0	6.0	5.1	5.1	5.1
く溶性カリ	乾物%	5.9	5.9	5.0	5.0	5.0
石灰	乾物%	2.5	8.5	7.3	5.3	5.7
苦土	乾物%	2.0	0.6	2.4	1.8	1.6
推定肥効率%	窒素	84	72	72	67	66
	リン酸	88	87	77	77	77
	カリ	98	98	98	98	98

注）窒素の推定肥効率は窒素無機化特性値を用いた25℃90日の窒素無機化率より、
リン酸とカリの推定肥効率は2%クエン酸によるく溶率より求めた。

表 6-2-2　肥料袋の保証票における混合材料と割合に関する情報（グループ２）

混合材料と割合	銘柄名	指定混合肥料H	指定混合肥料I	牛CN11混合肥料	牛CN20混合肥料	牛CN23混合肥料
	堆肥	牛・鶏堆肥	鶏堆肥	CN11牛堆肥	CN20牛堆肥	CN23牛堆肥
普通肥料割合	%	60	60	60	60	60
特殊肥料割合	%	40	40	40	40	40
土壌改良資材割合	%	0	0	0	0	0
普通肥料	多い順	硫安	硫安	硫安	硫安	硫安
		塩化加里	動物かす粉末	尿素	尿素	尿素
		化成肥料	塩化加里	過石	過石	過石
		尿素	化成肥料	石膏	石膏	石膏
		微量要素複合肥料				
特殊肥料	多い順	牛ふん	鶏ふん堆肥	牛ふん	牛ふん	牛ふん
		鶏ふん		ひまし油粕	ひまし油粕	ひまし油粕
		植物残さ		米ぬか	米ぬか	米ぬか
		稲わら		鶏ふん燃焼灰	鶏ふん燃焼灰	鶏ふん燃焼灰
		もみがら		副産肥料パーム	副産肥料パーム	副産肥料パーム
		米ぬか				
土壌改良資材						

表 6-3-1　グループ３に属する肥料の成分分析結果

項目		指定混合肥料J	指定混合肥料K	指定混合肥料L	指定混合肥料M
成分値	N-P_2O_5-K_2O	4.0-5.2-4.2	2.3-2.3-1.4	3.0-2.7-2.2	2.8-3.0-2.8
混合堆肥		牛堆肥・泥炭	牛堆肥・泥炭	牛・豚・鶏堆肥・泥炭	牛・豚・鶏堆肥
水分	現物%	6.2	5.2	5.5	7.6
pH		7.1	6.9	6.2	7.9
EC	mS/cm	19	6.9	14	7.4
窒素	乾物%	4.1	2.5	3.5	3.0
アンモニア性窒素	乾物%	1.6	0.6	1.4	0.2
アンモニアN/窒素	%	38	22	39	6
炭素	乾物%	29	26	37	37
炭素窒素比		6.9	10	10	12
リン酸	乾物%	5.2	2.3	2.7	3.0
く溶性リン酸	乾物%	4.5	2.0	2.4	2.7
カリ	乾物%	4.2	1.4	2.2	2.8
く溶性カリ	乾物%	3.8	1.1	2.0	2.5
石灰	乾物%	12	4.0	5.1	5.4
苦土	乾物%	6.9	10.5	1.4	1.6
推定肥効率%	窒素	60	58	32	31
	リン酸	87	89	89	90
	カリ	90	79	91	89

注）窒素の推定肥効率は窒素無機化特性値を用いた25℃90日の窒素無機化率より、
リン酸とカリの推定肥効率は2%クエン酸によるく溶率より求めた。

表 6-3-2　肥料袋の保証票における混合材料と割合に関する情報（グループ３）

混合材料と割合	銘柄名	指定混合肥料J	指定混合肥料K	指定混合肥料L	指定混合肥料M
	堆肥	牛堆肥・泥炭	牛堆肥・泥炭	牛・豚・鶏堆肥・泥炭	牛・豚・鶏堆肥
普通肥料割合	%	50	20	0	30
特殊肥料割合	%	30	30	70	70
土壌改良資材割合	%	20	30	30	0
普通肥料	多い順	化成肥料	米ぬか		副産物石灰肥料
		塩化加里	油かす		植物質類
		硫安	乾燥菌体肥料		
		尿素	加工家きんふん肥料		
		微量要素複合肥料			
		過石			
特殊肥料	多い順	牛ふん堆肥	牛ふん	牛ふん	牛ふん
		オガクズ		豚ふん	豚ふん
		石灰		鶏ふん	鶏ふん
		活性炭			米ぬか
		米ぬか			
土壌改良資材		泥炭	泥炭	泥炭	
		炭カル			

表 6-4-1　グループ４に属する肥料の成分分析結果

項目		指定混合肥料N	指定混合肥料O	指定混合肥料P	指定混合肥料Q
成分値	$N\text{-}P_2O_5\text{-}K_2O$	1.2-1.6-1.3	2.5-2.0-2.5	0.8-7-6	1.7-1.9-2.0
混合堆肥		牛・鶏堆肥・泥炭	牛・鶏堆肥・泥炭	牛・鶏灰	牛・鶏堆肥・泥炭
水分	現物%	7.0	6.5	6.7	7.1
pH		7.8	6.2	9.1	6.9
EC	mS/cm	2.7	9.5	8.2	4.8
窒素	乾物%	1.6	2.6	1.3	1.8
アンモニア性窒素	乾物%	0.1	0.6	0.1	0.2
アンモニアN/窒素	%	4.0	25	6.0	11.0
炭素	乾物%	34	35	18	36
炭素窒素比		22	14	14	20
リン酸	乾物%	1.6	2.0	7.0	1.9
く溶性リン酸	乾物%	1.4	1.7	6.1	1.6
カリ	乾物%	1.3	2.5	6.0	2.0
く溶性カリ	乾物%	1.2	2.3	5.3	1.9
石灰	乾物%	12	4.5	12	5.8
苦土	乾物%	5.6	1.5	5.3	1.7
推定肥効率%	窒素	26	20	23	7
	リン酸	88	85	87	84
	カリ	92	92	88	95

注）窒素の推定肥効率は窒素無機化特性値を用いた25℃90日の窒素無機化率より、
リン酸とカリの推定肥効率は2%クエン酸によるく溶率より求めた。

表 6-4-2　肥料袋の保証票における混合材料と割合に関する情報（グループ４）

混合材料と割合	銘柄名	指定混合肥料N	指定混合肥料O	指定混合肥料P	指定混合肥料Q
	堆肥	牛･鶏堆肥･泥炭	牛･鶏堆肥･泥炭	牛･鶏灰	牛･鶏堆肥･泥炭
普通肥料割合	%	20	0	30	0
特殊肥料割合	%	60	60	70	60
土壌改良資材割合	%	40	20	0	20
普通肥料	多い順			鉱滓マンガン肥料	
特殊肥料	多い順	牛ふん	牛ふん	牛ふん	牛ふん
		オガクズ・チップ	オガクズ	オガクズ	オガクズ
		鶏ふん	鶏ふん	石灰	鶏ふん
		石灰	木材チップ	活性炭	木片チップ
		活性炭		鶏ふん焼却灰	米ぬか
		発酵補助資材		米ぬか	
土壌改良資材		泥炭	泥炭	炭カル	泥炭
		炭カル			

２）温度 3 段階による培養試験の方法と結果

指定混合肥料に含まれる窒素の無機化量について検討するため、温度別の培養試験を行いました。

（１）培養試験の方法

培養方法は温度を３段階（10、20、30℃）とし、100ml のガラス瓶に土壌 20g を入れ、乾土 100ｇ当たりの全窒素がおよそ 100mg 相当の肥料を加え、最大容水量の 50% の畑水分条件で行いました。生成した無機態窒素を 7 回（0、10、30、50、70、90、120 日）抽出して分析を行いました。無機態窒素（アンモニア態と硝酸態窒素）の分析は外部の分析機関に依頼しました。分析法はアンモニア態窒素、硝酸態窒素ともに「発色法による SPAD での分析」で、結果表示は mgN/100g 乾土としました。

（２）培養試験の結果

市販の指定混合肥料 20 銘柄の培養試験結果について、肥料の中からグループの窒素肥効の特徴を有すると思われる代表的な肥料を選び表 6-5～表 6-8、図 6-1 に示しました。培養試験で得られた無機態窒素の結果の表示法につては、委員会の専門家の意見も踏まえて、ア）全窒素に対する無機化率%データ、イ）アンモニア態窒素と硝酸態窒素の割合図としました。

以下、各グループ肥料の培養試験結果を示します。

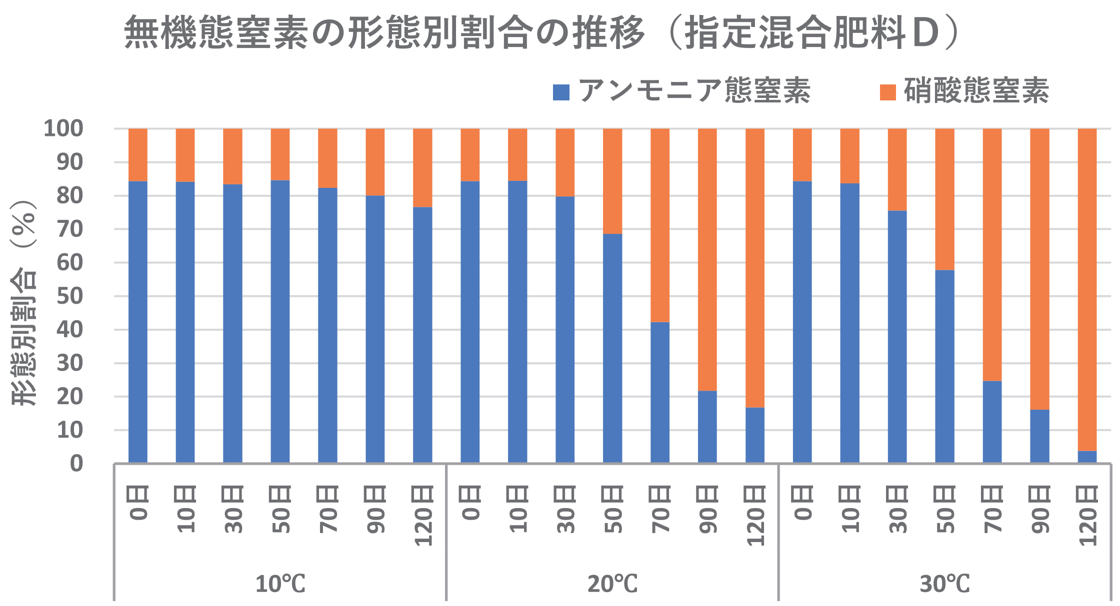
①グループ１肥料の窒素肥効（指定混合肥料Ｄの結果）

グループ１は全窒素やアンモニア態濃度が高く、しかも無機化量が最も高いこと、形態別の窒素割合はアンモニア態が多く、窒素肥効率が最も高い結果となりました（表6-5）。

表 6-5　指定混合肥料Ｄの培養試験結果

全窒素に対する無機化率%（原データによる）

肥料		0日	10日	30日	50日	70日	90日	120日
指定混合肥料D 10℃	測定①	77.9	74.0	83.5	89.2	90.2	79.7	94.0
	測定②	79.6	89.0	84.4	90.2	94.6	101.8	95.1
	平均値	78.8	81.5	84.0	89.7	92.4	90.8	94.6
指定混合肥料D 20℃	測定①	77.9	87.3	98.8	94.6	94.7	98.0	98.9
	測定②	79.6	88.2	90.3	93.1	100.5	105.3	98.4
	平均値	78.8	87.8	94.6	93.9	97.6	101.7	98.7
指定混合肥料D 30℃	測定①	77.9	82.8	94.1	100.7	96.8	94.9	97.2
	測定②	79.6	92.8	101.7	95.1	98.8	93.4	98.3
	平均値	78.8	87.8	97.9	97.9	97.8	94.2	97.8



②グループ２肥料の窒素肥効（指定混合肥料Ｇの結果）

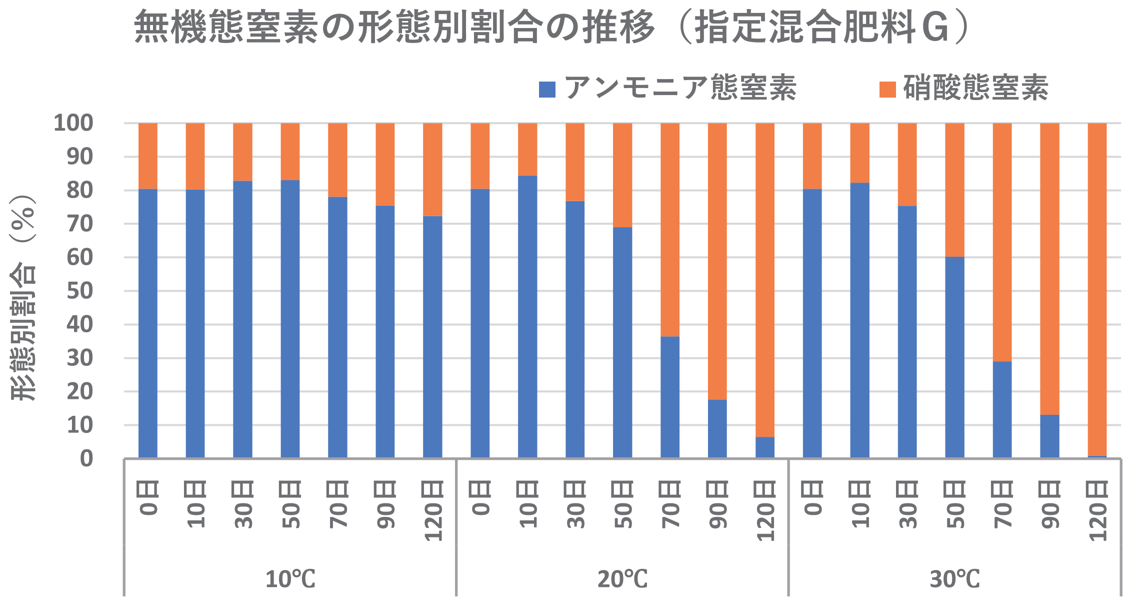
グループ２は全窒素やアンモニア態濃度、無機化量がＧ１に続くこと、形態別の窒素割

合はアンモニア態が多く、窒素肥効率もＧ１に続く結果となりました（表 6-6)。

表 6-6　指定混合肥料Ｇの培養試験結果

全窒素に対する無機化率％（原データによる）

肥料		0日	10日	30日	50日	70日	90日	120日
指定混合肥料G 10℃	測定①	58.5	76.2	88.0	78.6	75.9	81.5	78.9
	測定②	57.1	48.9	65.0	78.6	77.2	74.7	81.3
	平均値	57.8	62.6	76.5	78.6	76.6	78.1	80.1
指定混合肥料G 20℃	測定①	58.5	75.6	83.6	80.2	84.3	82.9	76.1
	測定②	57.1	79.6	76.0	84.8	84.9	80.3	88.2
	平均値	57.8	77.6	79.8	82.5	84.6	81.6	82.2
指定混合肥料G 30℃	測定①	58.5	79.9	88.8	89.1	97.1	92.2	90.6
	測定②	57.1	79.7	85.8	92.1	91.7	92.3	90.5
	平均値	57.8	79.8	87.3	90.6	94.4	92.3	90.6

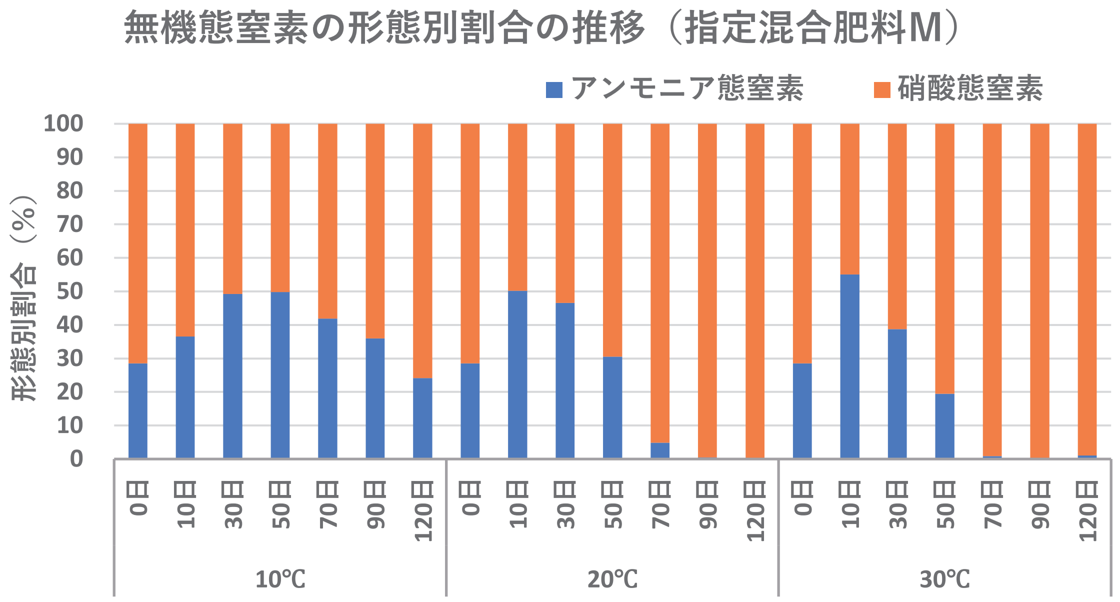


③グループ３肥料の窒素肥効（指定混合肥料Ｍの結果）
グループ３は全窒素やアンモニア態濃度、無機化量がＧ２に続くこと、形態別の窒素割合は硝酸態の割合が多くなり、窒素肥効率がＧ２に続く結果となりました（表 6-7)。

表 6-7　指定混合肥料 M の培養試験結果

全窒素に対する無機化率%（原データによる）

肥料		0日	10日	30日	50日	70日	90日	120日
指定混合肥料M	測定①	4.7	8.3	16.5	17.4	18.1	19.0	19.9
	測定②	2.2	7.9	13.4	16.7	20.0	18.4	19.0
10℃	平均値	3.5	8.1	15.0	17.1	19.1	18.7	19.5
指定混合肥料M	測定①	4.7	15.9	22.7	22.9	24.8	23.8	26.2
	測定②	2.2	17.4	22.0	25.3	25.0	26.7	26.5
20℃	平均値	3.5	16.7	22.4	24.1	24.9	25.3	26.4
指定混合肥料M	測定①	4.7	18.8	22.2	25.1	25.8	29.3	27.4
	測定②	2.2	22.0	25.7	27.5	27.0	25.4	27.9
30℃	平均値	3.5	20.4	24.0	26.3	26.4	27.4	27.7



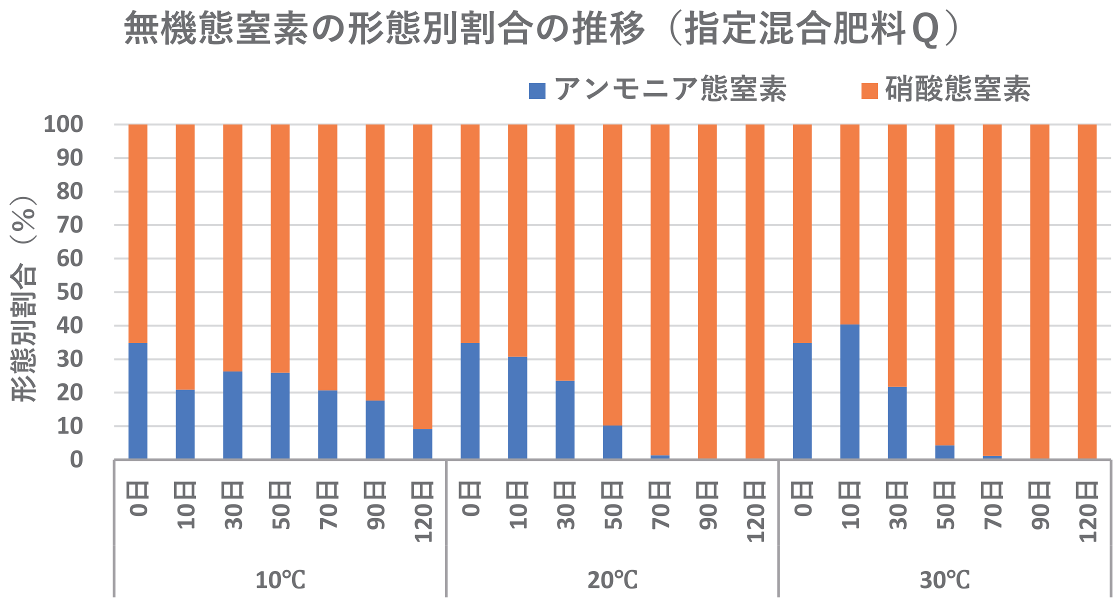
④グループ 4 の窒素肥（指定混合肥料 Q の結果）

グループ 4 は全窒素やアンモニア態濃度、無機化量が最も低いこと、形態別の窒素割合は硝酸態が大部分となり、窒素肥効率もかなり低い結果となりました（表 6-8）。

表 6-8　指定混合肥料 Q の培養試験結果

全窒素に対する無機化率％（原データによる）

肥料		0日	10日	30日	50日	70日	90日	120日
指定混合肥料Q 10℃	測定①	7.4	2.0	2.4	3.1	3.7	2.3	3.8
	測定②	6.9	1.4	1.8	2.1	2.5	4.6	4.9
	平均値	7.2	1.7	2.1	2.6	3.1	3.5	4.4
指定混合肥料Q 20℃	測定①	7.4	5.1	7.0	5.4	11.4	10.9	10.7
	測定②	6.9	4.0	5.3	8.0	10.2	8.9	10.5
	平均値	7.2	4.6	6.2	6.7	10.8	9.9	10.6
指定混合肥料Q 30℃	測定①	7.4	9.5	10.2	10.4	13.7	13.0	14.7
	測定②	6.9	9.9	10.3	10.3	19.6	16.3	15.4
	平均値	7.2	9.7	10.3	10.4	16.7	14.7	15.1



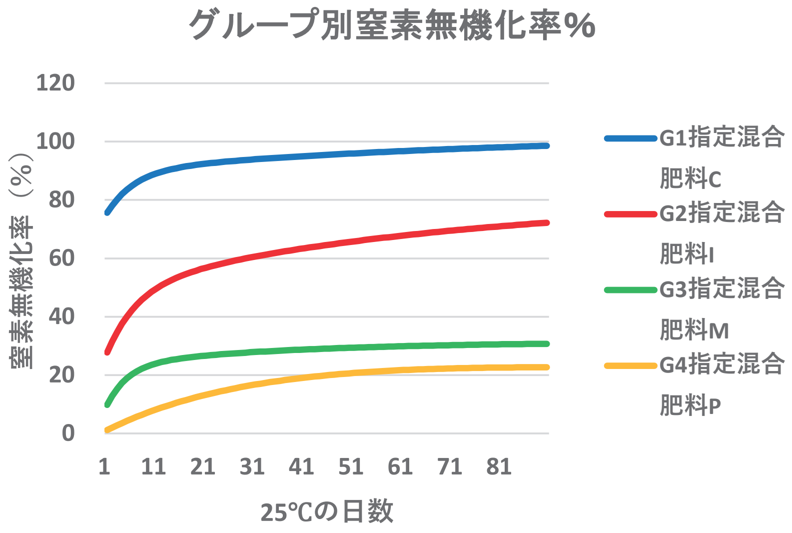


図 6-1　グループ別代表肥料の窒素無機化パターンのイメージ

3）窒素無機化特性値*3の求め方と結果

（１）窒素無機化特性値とは何か

窒素無機化特性値とは、土壌や有機質肥料などに含まれる有機態の窒素が微生物により分解されて、作物が吸収できる無機態窒素（アンモニア態窒素や硝酸態窒素）へと変化する割合や速度を数値化したものです。これには、「可分解性有機態窒素量あるいは割合」、「無機態窒素量あるいは割合」、「無機化速度定数」、「無機化速度に対する活性化エネルギー」などが含まれ、肥効期間の予測などに用いられています（図6-2）。

（２）窒素無機化特性値の求め方

①まず、培養試験で得られた肥料の無機化量の数値から土壌のそれを差し引いた原データ（アンモニア態窒素と硝酸態窒素の合計量）と近似式を当てはめて求めた近似データを、土壌単独、肥料別、温度別にまとめました。

②次に、土壌のデータを差し引いた原データと近似データを、表 6-9 に示した反応速度論的解析が可能な専用ソフトを用いて３種類の無機化モデルへ当てはめ、K と Ea の初期値条件をいろいろ変えて解析を行いました。得られた結果ごとに判定基準（AIC 値）を確認して、その値が最小となったモデルタイプを決定し、相当する窒素無機化特性値を得ました。

表 6-9　基本的な３つの窒素無機化モデルと反応速度式（杉原ら）

	反応モデル	内容	反応速度式
１．単純型	$A \xrightarrow{k} N$	有機態窒素Aが無機化する	$N=No\{1-\exp(-k \cdot t)\}$
２．単純並行型	$A \xrightarrow{k_1} N$ $B \xrightarrow{k_2} N$	有機態窒素A,Bが無機化する	$N=No\{1-\exp(-k_1 \cdot t)\}$ $+No\{1-\exp(-k_2 \cdot t)\}$
３．有機化・無機化並行型	$A \xrightarrow{k} N \xrightarrow{k_{im}} M$	窒素の無機化と有機化が進む	$N=N_{im}\{1-\exp(-k_{im}t)\}$ $+No\{1-\exp(-k \cdot t)\}$

No：可分解性有機態窒素量（mgN/100g乾土，または%）
k　：無機化速度定数（day）

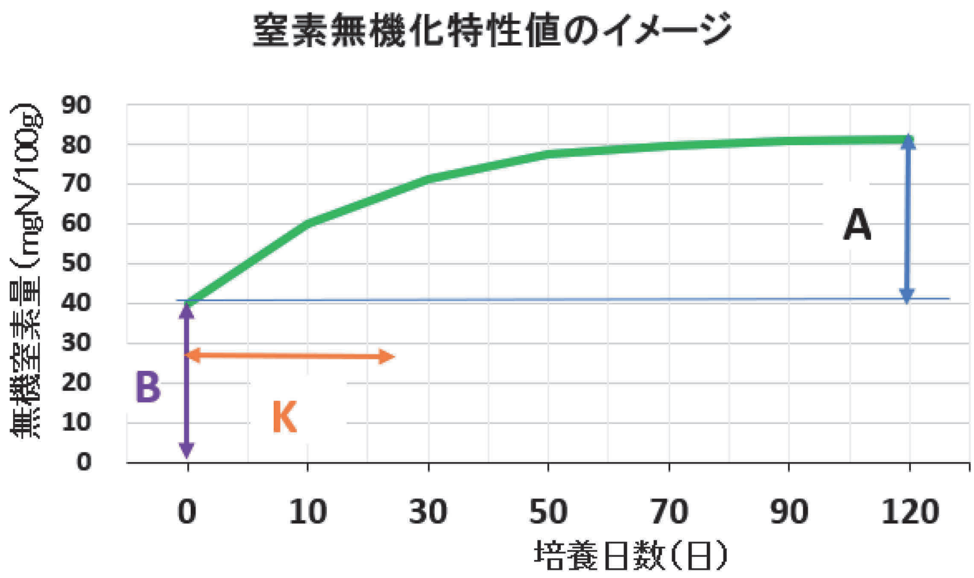


図 6-2　　窒素無機化特性値が意味する情報のイメージ

（３）窒素無機化特性値の結果

原データと近似データの違いがモデル適合度に及ぼす影響を検討した結果、近似データの方が高い（赤池の基準 AIC 値が低い）結果となりましたので、解析には近似データを用いました（表 6-10）。解析の結果、指定混合肥料すべてでモデル１（単純型）よりモデル２（単純並行型）に適合する結果が得られました（表 6-11）ので、モデル２の窒素無機化特性値を採用しました（表 6-12）。特性値の有する情報は、Ａ１：無機化しやすい有機態窒素％、Ａ２：遅れて無機化する有機態窒素％　両方とも値が高いほど無機化量が多くなります。Ｂ：すぐ効く無機態窒素％　値が高いほど早い時期から効きます。Ｋ１：無機化しやすい有機態窒素の無機化速度定数日$^{-1}$、Ｋ２：遅れて無機化する有機態窒素の無機化速度定数日$^{-1}$　値が高いほど無機化が速く進みます。Ea１：無機化しやすい有機態窒素の無機化速度の活性化エネルギー、Ea２：遅れて無機化する有機態窒素の無機化速度の活性化エネルギー　一般に Ea１が Ea２。よりも低い値となります。

表 6-10　原データと近似データの違いがモデル適合度基準（AIC 値）に及ぼす影響

データ種類	原データ		近似データ	
肥料銘柄	モデルタイプ	AIC値	モデルタイプ	AIC値
指定混合肥料I	2	117	2	112
指定混合肥料F	2	96	2	73
指定混合肥料H	2	99	2	47
指定混合肥料J	2	107	2	55
指定混合肥料N	2	99	2	98

表 6-11　採用するモデルを決定するための赤池の基準 AIC 値の結果

肥料銘柄	赤池の基準AIC値	
	モデル1	モデル2
指定混合肥料A	120	77
指定混合肥料C	101	45
指定混合肥料G	117	69
指定混合肥料B	102	61
指定混合肥料K	118	73
指定混合肥料M	99	85
指定混合肥料Q	58	41

表 6-12　指定混合肥料２０点の窒素無機化特性値の結果（グループは表 6-15 参照）

グループ	反応速度式	モデル2	Y=A1x(1-EXP(-K1xT))+A2x(1-EXP(-K2xT))+B					
	肥料銘柄	窒素無機化特性値						
		A1	A2	B	K1	K2	Ea1	Ea2
G1	指定混合肥料A	24.4	30.8	66.8	0.181	0.016	4,922	8,290
	指定混合肥料B	18.9	11.3	74.8	0.190	0.020	2,430	15,448
	指定混合肥料C	17.2	12.7	72.6	0.179	0.013	8,365	15,568
	指定混合肥料D	10.1	10.2	79.0	0.182	0.020	9,915	25,462
	指定混合肥料E	17.7	12.9	68.7	0.189	0.017	4,980	10,953
	指定混合肥料F	20.3	26.6	51.4	0.181	0.021	973	4,651
	指定混合肥料G	23.3	16.9	58.7	0.154	0.011	9,115	21,567
G2	指定混合肥料H	16.7	11.7	57.2	0.185	0.020	1,874	10,282
	指定混合肥料I	25.9	30.9	23.4	0.163	0.015	2,451	4,951
	牛CN23混合肥料	32.7	20.5	20.2	0.204	0.027	700	9,871
	牛CN20混合肥料	22.9	32.5	16.2	0.204	0.023	3,148	8,050
	牛CN11混合肥料	22.7	32.7	14.3	0.201	0.024	2,850	8,437
G3	指定混合肥料J	17.8	20.8	26.5	0.163	0.015	2,373	3,551
	指定混合肥料K	25.8	16.5	20.3	0.176	0.015	8,044	17,056
	指定混合肥料L	6.0	4.3	23.9	0.119	0.010	1,186	15,443
	指定混合肥料M	17.2	8.3	5.9	0.237	0.028	2,816	16,576
G4	指定混合肥料N	28.5	-2.8	-2.1	0.096	0.001	2,728	16,163
	指定混合肥料O	9.7	0.5	11.6	0.019	0.010	1,864	24,394
	指定混合肥料P	36.8	-18.7	0.3	0.029	0.011	1,296	9,318
	指定混合肥料Q	10.5	-9.7	6.3	0.020	0.017	973	10,339

A1:無機化しやすい有機態窒素，A2:遅れて無機化する有機態窒素の割合(%)
B:無機態窒素の割合(%)
K1，K2:窒素無機化速度定数(day^{-1})
Ea1，Ea2:窒素無機化速度に対する見かけの活性化エネルギー($J\ mol^{-1}$)

４）窒素無機化特性値から推定した窒素無機化率

３）項で、指定混合肥料 20 銘柄の窒素無機化特性値を把握しました。表 6-12 に示しました特性値を用いて、30 日と 90 日（25℃）の窒素無機化率（窒素肥効率）をモデル２式から算出しました。30 日は短期間で収穫する作物のため、90 日は長期間かけて収穫する作物の栽培用に想定しました。その結果を表 6-13 に示しました。

得られた 20 銘柄肥料の窒素無機化率は、両日とも７％から 100％まで広範囲に分布しており、グループ分けが可能と判断されました。

表 6-13　指定混合肥料 20 銘柄の窒素無機化特性値を用いて推定した窒素無機化率

グループ	肥料銘柄	窒素無機化率推定値%		平均値±標準偏差	
		30日	90日	30日	90日
G1	指定混合肥料A	100	100	93 ±5.9	97 ±2.8
	指定混合肥料B	99	100		
	指定混合肥料C	94	99		
	指定混合肥料D	94	98		
	指定混合肥料E	91	97		
	指定混合肥料F	84	94		
	指定混合肥料G	87	93		
G2	指定混合肥料H	79	84	63 ±14	72 ±12
	指定混合肥料I	60	72		
	牛CN23混合肥料	64	72		
	牛CN20混合肥料	55	67		
	牛CN11混合肥料	54	66		
G3	指定混合肥料J	52	60	41 ±13	45 ±16
	指定混合肥料K	52	58		
	指定混合肥料L	31	32		
	指定混合肥料M	28	31		
G4	指定混合肥料N	25	26	16 ±7.2	19 ±8.1
	指定混合肥料O	16	20		
	指定混合肥料P	16	23		
	指定混合肥料Q	7	7		

注）各肥料の窒素無機化特性値を用い30日と90日(25℃)の窒素無機化率をモデル2式から算出

５）窒素肥効からみたグループ分けと肥効の特徴

市販の指定混合肥料には普通肥料、特殊肥料及び土壌改良資材が混合されており、窒素肥効は複雑になることが想定されましたので、年２回開催される事業推進委員会で窒素肥効をメインとしたグループ分けが要請されました。表 6-13 に示した 20 銘柄の窒素無機化率は想定通り７％から 100％まで広範囲に分布していました。窒素無機化率の差をもたらす要因としては、含まれている家畜ふん堆肥、土壌改良資材、化学肥料の種類や混合割合が肥料銘柄によっていろいろ異なるためと考えられます。

表 6-13 に示した窒素無機化率のグループ分けを検討した結果、４グループに分けられました（表 6-14）。グループ分けのフローチャートを図 6-3 に示しました。

そこで、各グループに属す肥料の資材の種類や混合割合と窒素無機化率の関係を検討しました。

Ｇ１は化学肥料の割合が高く、全窒素やアンモニア態も最も高いが ADSON 値は低く、窒素無機化率が 90%以上と最も高いグループです。指定混合肥料 A、指定混合肥料 B、指定混合肥料 E、指定混合肥料 D、指定混合肥料 C、指定混合肥料 F、指定混合肥料 G が属します。

Ｇ２はＧ１に比べて堆肥の割合が高く、Ｇ１より全窒素やアンモニア態は低いが ADSON 値は高く、窒素無機化率が 60～90％の範囲にあるグループです。指定混合肥料 H、指定混合肥料 I、CN11、CN20、CN23 の３種類の牛ふん堆肥混合肥料が属します。

Ｇ３は堆肥と土壌改良資材の割合が高く、全窒素やアンモニア態及び ADSON 値がＧ２より低く、窒素無機化率が 30～60％の範囲にあるグループです。指定混合肥料 J、指定混合肥料 K、指定混合肥料 L、指定混合肥料 M が属します。

Ｇ４は堆肥と土壌改良資材からなり、Ｇ３より堆肥の割合が高く全窒素やアンモニア態濃度及び ADSON 値が最も低く、窒素無機化率が 30％以下のグループです。指定混合肥料 N、指定混合肥料 O、指定混合肥料 P、指定混合肥料 Q が属します。

表 6-14　表 6-13 に示した窒素無機化率（25℃90 日）のグループ分け

窒素無機化推定値％	グループ
90～100	G1
60～90	G2
30～60	G3
30以下	G4

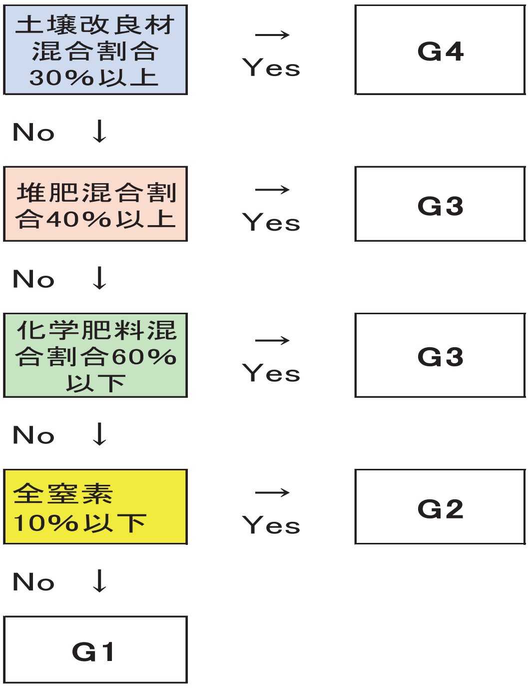


図 6-3　グループ分けのフローチャート

表 6-15　指定混合肥料 20 銘柄の窒素肥効グループ分け

グループ	全窒素（乾物%）	アンモニア態窒素（乾物%）	化学肥料混合割合	堆肥混合割合	土改材混合割合	ADSON値注2)
G1(7)	12.2±1.8	9.9±1.9	64±6	36±6	0±0	18±12
最大～最小	14.3～9.2	12.0～6.7	70～55	45～30	0	39～5
G2(5)	8.2±2.9	4.5±3.4	60±0	40±0	0±0	32±9
最大～最小	11.6～6.0	9.3～2.0	60～60	40～0	0	43～17
G3(4)	3.5±0.8	1.0±0.7	13±25	50±23	20±14	18±5
最大～最小	4.5～2.7	1.7～0.2	50～0	70～30	30～0	23～11
G4(4)	1.9±0.6	0.3±0.3	5±10	63±5	20±16	9±2
最大～最小	2.7～1.3	0.2～0.1	20～0	70～60	40～0	11～5

注1）上段は平均値±標準偏差、下段は最大値と最小値の範囲を示す。G跡の括弧は点数。

注2）ADSON値は酸性デタージェント可溶の分解しやすい有機態窒素の割合を示す。

なお、分析は農研機構・九州沖縄農業研究センターの古賀伸久氏が行い、データの提供を受けた。

該当する肥料銘柄
G1：指定混合肥料A、指定混合肥料B、指定混合肥料C、指定混合肥料D、指定混合肥料E、指定混合肥料F、指定混合肥料G
G2：指定混合肥料H、指定混合肥料I、牛11混合肥料、牛20混合肥料、牛23混合肥料
G3：指定混合肥料J、指定混合肥料K、指定混合肥料L、指定混合肥料M、
G4：指定混合肥料N、指定混合肥料O、指定混合肥料P、指定混合肥料Q

６）検討した肥料以外の窒素無機化率を推定するための方法

上述の検討した肥料以外の窒素無機化率を知るためには、窒素無機化率の目安が簡易に推定できる方法が必要です。そこで、保証表の数値を活用して窒素無機化率を推定するための回帰分析について検討しました。表 6-16 に示しました肥料 20 銘柄のアンモニア態窒素と有機態窒素（全窒素からアンモニア態窒素を差し引いた値）の値を説明変数、４）で得られました窒素無機化率を目的変数として重回帰分析を行いました。窒素無機化率はアンモニア態窒素及び有機態窒素（全窒素からアンモニア態窒素を差し引いた値）と相関関係にあり、次の重回帰式から簡単に計算できます。

30 日の窒素無機化率(%)=6.2×アンモニア態(%)＋9.5×有機態窒素(%)+4.9 (R^2=0.913)

90 日の窒素無機化率(%)=6.3×アンモニア態(%)＋10.9×有機態窒素(%)+6.9 (R^2=0.900)

４）の窒素無機化率と上式から算出した値の相関関係について、30 日の例を図 6-4 に示しました。

ここで試算例を説明してみましょう。肥料袋の保証票に「全窒素が８%、アンモニア態窒素が３%」と記載された肥料の 25℃における 30 日と 90 日後の窒素無機化率を推定してみましょう。算出結果は以下のとおりです。

30 日後の窒素無機化率%＝6.2×3.0+9.5×(8.0-3.0)+4.9＝71

90 日後の窒素無機化率%＝6.3×3.0+10.9×(8.0-3.0)+6.9＝80

表 6-16　表 6-13 の窒素無機化率の推定値が得られた 20 銘柄肥料の分析値と資材混合割合

グループ	銘柄	全窒素（乾物%）	アンモニア態窒素（乾物%）	有機態窒素（%）	堆肥混合割合	土改材混合割合
G1	指定混合肥料A	14.3	10.1	4.2	30	0
	指定混合肥料B	9.2	6.7	2.5	40	0
	指定混合肥料C	12.8	11.9	0.9	35	0
	指定混合肥料D	13.2	12.0	1.2	35	0
	指定混合肥料E	13.6	10.6	3.0	45	0
	指定混合肥料F	11.1	8.7	2.4	40	0
	指定混合肥料G	11.4	9.6	1.8	30	0
G2	指定混合肥料H	11.6	9.3	2.2	40	0
	指定混合肥料I	11.2	6.7	4.5	40	0
	牛CN23混合肥料	6.2	2.3	3.9	40	0
	牛CN20混合肥料	6.1	2.1	4.0	40	0
	牛CN11混合肥料	6.0	2.0	4.0	40	0
G3	指定混合肥料J	4.5	1.7	2.8	30	20
	指定混合肥料K	2.7	0.6	2.1	30	30
	指定混合肥料L	3.8	1.5	2.3	70	30
	指定混合肥料M	3.1	0.2	2.9	70	0
G4	指定混合肥料N	1.6	0.1	1.6	60	40
	指定混合肥料O	2.8	0.7	2.1	60	20
	指定混合肥料P	1.3	0.1	1.2	70	0
	指定混合肥料Q	2.0	0.2	1.7	60	20

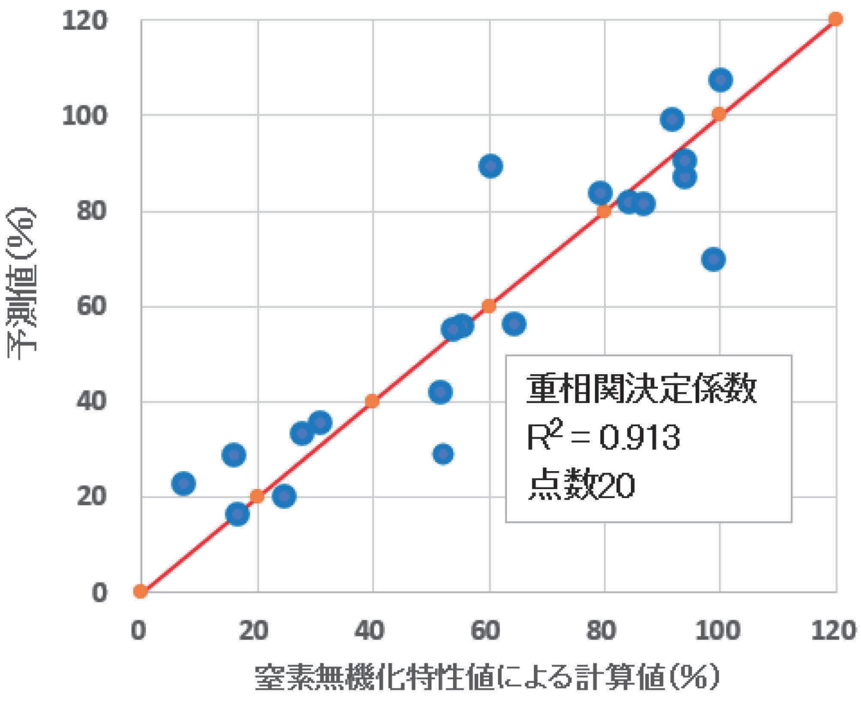


図 6-4　アンモニア態窒素と有機態窒素を説明変数とする重回帰分析による窒素無機化率の予測値と計算値（30 日の例）

7）まとめ

指定混合肥料 20 銘柄の窒素肥効特性、とくに窒素無機化特性値と窒素の肥効率について検討しました。

（１）温度別（10、20、30℃）の培養試験を行い、得られた無機態窒素の結果から近似データを算出し、反応速度論的解析を行いました。その結果、全肥料がモデル２（単純並行型）に最も適合しましたので、相当する窒素無機化特性値を得ました。

（２）窒素無機化特性値を用いて、25℃における 30 日と 90 日の窒素無機化率を求めました。

（３）得られた 20 銘柄の窒素無機化率の結果と各肥料の分析値等から、窒素肥効からみた４つのグループに分類し、各グループの窒素肥効の特徴をまとめました。

（４）未知肥料の窒素無機化率を保証票情報から推定する方法について検討しました。その結果、窒素無機化率は全窒素とアンモニア態窒素と高い相関関係にあり、次の重回帰式による推定式が得られました。

30 日の窒素無機化率(%)=6.2×アンモニア態(%)＋9.5×有機態窒素(%)+4.9
(R^2=0.913)

90 日の窒素無機化率(%)=6.3×アンモニア態(%)＋10.9×有機態窒素(%)+6.9
(R^2=0.900)

7．指定混合肥料のリン酸とカリの肥効特性

ポイント

指定混合肥料２０銘柄のリン酸とカリの肥効率について検討しました。

肥料のく溶性画分のリン酸とカリを測定し、く溶性画分の濃度が全濃度に占める割合（く溶率）から肥効率を推定しました。リン酸の肥効率は全体で 86%と高く、肥料間で大きな差はみられませんでした。カリの肥効率も全体で 90%と高く、肥料間で大きな差はみられませんでした。

1）リン酸とカリの肥効率の求め方

３年で収集した２０銘柄肥料のリン酸とカリの推定肥効率について、保証表の情報を主体に、記載のない肥料については分析を行い、グループごとに整理しました。

求め方は、まず２%クエン酸で抽出されるく溶性[*4]のリン酸とカリを測定し、肥効率はく溶性の濃度が全濃度に占める割合（く溶率）[*4]から推定しました。なお、く溶性の分析法は以下の通りです。

微粉砕した指定混合肥料 0.20g を 50ml 容量のプラスチック製遠沈管に採り、30℃に保温した２%クエン酸液 40ml を加え（1：200 の割合)、30℃の振とう恒温器中で 1 時間振とう抽出しました。直ちに No6 の乾燥ろ紙でろ過して分析サンプルを得、く溶性のリンとカリ濃度を ICP 発光分析装置（島津）で測定しました。

２）リン酸とカリの推定肥効率の結果

肥料２０銘柄のリン酸とカリの全量濃度、く溶性の濃度、推定肥効率の結果を表 7-1 に示しました。

（１）く溶性リン酸の結果

リン酸のく溶性の濃度はグループ１と２で高く、グループ３と４で低くなりました。グループ１は 4.4%～6.6%、平均 5.2%、グループ２は 2.6%～9.0%、平均 4.1%、グループ３は 2.0%～4.5%、平均 2.9%、グループ４は 1.4%～6.1%、平均 2.7%となりました。

（２）く溶性カリの結果

カリのく溶性の濃度はグループ１と２で高く、グループ３と４で低くなりました。グループ１は 2.4%～9.5%、平均 5.0%、グループ２は 5.0%～9.5%、平均 6.0%、グループ３は 1.1%～3.8%、平均 2.4%、グループ４は 1.2%～5.3%、平均 2.7%となりました。

（３）リン酸とカリの推定肥効率の結果

リン酸の肥効率は、グループ１が 83%～90%、平均 87%、グループ２が 77%～90%、平均 83%、グループ３が 87%～90%、平均 89%、グループ４が 85%～88%、平均 86%となりました。

カリの肥効率は、グループ１が 89%～95%、平均 91%、グループ２が 95%～98%、平均 98%、グループ３が 79%～91%、平均 87%、グループ４が 88%～95%、平均 92%となりました。

以上の結果、指定混合肥料 20 銘柄のリン酸とカリの推定肥効率は、肥料銘柄に係わらずほとんど差がみられませんでした。

表 7-1　　３年間に供試した指定混合肥料のリン酸、カリの推定肥効率

グループ	肥料銘柄	全量（乾物%）		く溶性量（乾物%）		推定肥効率%（く溶率）	
		リン酸	カリ	リン酸	カリ	リン酸	カリ
G1	指定混合肥料A	5.0	10.0	4.4	9.5	88	95
	指定混合肥料B	8.0	5.0	6.6	3.0	83	90
	指定混合肥料C	6.0	6.0	5.4	5.4	90	90
	指定混合肥料D	6.0	4.0	5.2	2.4	87	89
	指定混合肥料E	5.0	5.0	4.4	4.5	88	90
	指定混合肥料F	10.0	10.0	9.0	9.5	90	95
	指定混合肥料G	3.4	6.0	3.0	5.9	88	98
G2	指定混合肥料H	3.4	6.0	3.0	5.9	88	98
	指定混合肥料I	3.0	6.0	2.6	5.9	87	98
	牛CN23混合肥料	5.0	5.1	3.8	5.0	77	98
	牛CN20混合肥料	5.0	5.1	3.8	5.0	77	98
	牛CN11混合肥料	5.0	5.1	3.8	5.0	77	98
G3	指定混合肥料J	5.2	4.2	4.5	3.8	87	90
	指定混合肥料K	2.3	1.4	2.0	1.1	89	79
	指定混合肥料L	2.7	2.2	2.4	2.0	89	91
	指定混合肥料M	3.0	2.8	2.7	2.5	90	89
G4	指定混合肥料N	1.6	1.3	1.4	1.2	88	92
	指定混合肥料O	2.0	2.5	1.7	2.3	85	92
	指定混合肥料P	7.0	6.0	6.1	5.3	87	88
	指定混合肥料Q	1.9	2.0	1.6	1.9	84	95

３）指定混合肥料の窒素、リン酸、カリの肥効特性のまとめ

指定混合肥料２０銘柄の窒素、リン酸、カリの推定肥効率の結果をまとめました（表 7-2）。

（１）窒素肥効率はグループ分けした肥料間で大きな差がみられました。25℃90 日の窒素無機化率をみると、グループ１は 97%～100%、平均 100%、グループ２は 66%～94%、平均 78%、グループ３は 31%～60%、平均 45%、グループ４は 7%～26%、平均 19%となりました。全サンプルでは 30 日が 59%、90 日で 65%となりました。

（２）リン酸の肥効率は、グループ１が平均 87%、グループ２が平均 83%、グループ３が平均 89%、グループ４が平均 86%となり、肥料間で大きな差はみられませんでした。

（３）カリの肥効率は、グループ１が平均 91%、グループ２が平均 98%、グループ３が平均 87%、グループ４が平均 92%となり、リン酸と同様に肥料間で大きな差はみられませんでした。

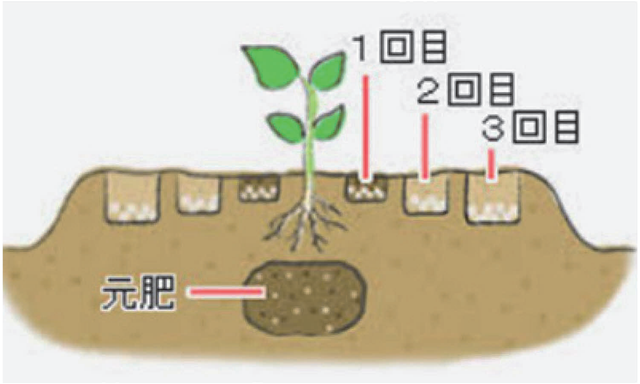
表 7-2　　指定混合肥料 20 銘柄の窒素、リン酸、カリの推定肥効率

窒素肥効によるグループ	肥料銘柄	推定肥効率(%)			
		窒素		リン酸	カリ
		30日	90日		
G1	指定混合肥料A	100	100	88	95
	指定混合肥料B	99	100	83	90
	指定混合肥料C	94	99	90	90
	指定混合肥料D	94	98	87	89
	指定混合肥料E	91	97	88	90
	指定混合肥料F	84	94	90	95
	指定混合肥料G	87	93	88	98
G2	指定混合肥料H	79	84	88	98
	指定混合肥料I	60	72	87	98
	牛CN23混合肥料	64	72	77	98
	牛CN20混合肥料	55	67	77	98
	牛CN11混合肥料	54	66	77	98
G3	指定混合肥料J	52	60	87	90
	指定混合肥料K	52	58	89	79
	指定混合肥料L	31	32	89	91
	指定混合肥料M	28	31	90	89
G4	指定混合肥料N	25	26	88	92
	指定混合肥料O	16	20	85	92
	指定混合肥料P	16	23	87	88
	指定混合肥料Q	7	7	84	95
グループ別の平均値	G1	93	97	88	92
	G2	63	72	81	98
	G3	41	45	89	87
	G4	16	19	86	92
肥料全体の平均値		59	65	86	93

用語解説

＊４　く溶性、く溶率

く溶性は２％クエン酸溶液に可溶な肥料成分で、作物の根から分泌される酸により徐々に溶け出し、長い間肥効を示す性質をいう。主にリン酸、カリ、苦土などに適用されています。く溶率は、その成分が全量に占める割合（％）で、肥料の速効性、遅効性を評価する指標として使われます。



８．指定混合肥料の窒素無機化量の予測・みえる化

ポイント

指定混合肥料の窒素無機化特性値と地温データを用いて窒素無機化量を予測みえる化する手法を確立し、国内６カ所で地域別、季節別の窒素無機化量を予測・みえる化しました。また、ポット栽培試験で窒素無機化量を検証しました。

１）窒素無機化特性値と地温に基づく窒素無機化量の予測・みえる化

肥料の窒素無機化特性値と地温データから窒素無機化量を予測・みえる化する方法について、以下説明します。

（１）選定した肥料の窒素無機化特性値

肥料例として、指定混合肥料 A と指定混合肥料 J を選定しました。指定混合肥料 A は豚ふん堆肥に米ぬかと普通肥料（尿素）を混合した肥料で、窒素無機化量が最も多いグループ（G1）に属す肥料です。指定混合肥料 J は牛ふん堆肥に米ぬか、普通肥料、泥炭を混合した肥料で、窒素無機化量が指定混合肥料 A よりもかなり低い肥料です。両肥料の窒素無機化特性値は、表 8-1 に示しました。

（２）地温データ

地温データ例として、宮崎市の６～８月の地温（土壌深さ 10cm）を図 8-1 に示しました。

（３）肥料の窒素無機化特性値と地温変化による窒素無機化量の予測方法について

窒素無機化量の予測・みえる化については、まず温度変換日数法を利用して地温データを 25℃に変換した日数に換算し、窒素無機化特性値のＡ（分解しやすい有機態窒素)、K（窒素無機化速度定位数）と t（標準温度に変換した日数)の値を単純並行型のモデル式に入力して窒素無機化量を算出しました。表 8-2 に宮崎市における指定混合肥料 A と指定混合肥料 J の予測例を示しました。なお、温度変換日数とは、ある温度で、ある日数おかれた条件が、標準温度（25℃）に変換すると何日に相当するかを表したものとされ、次式から計算しました。温度変換日数 (t) =exp (Ea (T-298) /1.987*T*298))、ここで Ea は窒素無機化特性値で求めた活性化エネルギー、T は地温データを絶対温度に変換した値としました。

窒素無機化量の算出に当たっては、作物の作付け体系や季節・地温変化などを想定して、作型（春作、夏作、秋作、冬作など）に分けて予測・みえる化することにしました。

（４）窒素無機化量の予測・みえる図の作成について

（３）の方法で求めた予測値をグラフで示しました。肥料からの窒素無機化量の予測値を図 8-2 に、０日の無機化量を差し引いた日ごとの増加量を図 8-3　に示しました。

表 8-1　肥料の窒素無機化特性値例

肥料銘柄	モデル2 Y=A1x(1−EXP(−K1xT))+A2x(1−EXP(−K2xT))+B						
	窒素無機化特性値						
	A1	A2	B	K1	K2	Ea1	Ea2
指定混合肥料A	24.4	30.8	10.1	0.181	0.016	4,922	8,290
指定混合肥料J	17.8	20.8	1.7	0.163	0.015	2,373	3,551

注）A1：無機化しやすい有機態窒素(%)、A2：遅れて無機化する有機態窒素（%）、
B：無機態窒素(%)、K：無機化速度定数（日$^{-1}$）、Ea：活性化エネルギー（J mol^{-1}）

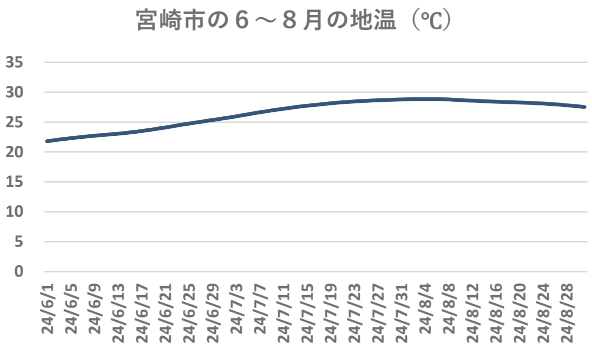


図 8-1　宮崎市の地温データ例

表 8-2　肥料の窒素無機化特性値と地温変化による窒素無機化量の予測計算例（エクセルソフト利用）

指定混合肥料 A

宮崎市

指定混合肥料 A		年月日	地温℃ ℃	温度変換日数 日	窒素発現量 mgN/100g	日増加量 mgN/100g
基準温度	25	24/6/1	21.8	1.94	75.0	0
A1	24.4	24/6/2	21.9	3.89	81.0	6.0
A2	30.8	24/6/3	22.1	5.84	85.5	10.5
k1	0.181	24/6/4	22.2	7.79	88.8	13.9
k2	0.016	24/6/5	22.3	9.74	91.5	16.5
Ea1	4,922	24/6/6	22.4	11.69	93.5	18.5
Ea2	8290	24/6/7	22.5	13.65	95.2	20.2
B	66.8	24/6/8	22.6	15.61	96.6	21.6
		24/6/9	22.7	17.57	97.7	22.8
		24/6/10	22.8	19.53	98.8	23.8
		24/6/11	22.9	21.49	99.7	24.7
		24/6/12	23.0	23.45	100.5	25.5
		24/6/13	23.1	25.42	101.2	26.3
		24/6/14	23.1	27.38	102.0	27.0
		24/6/15	23.3	29.35	102.6	27.6
		24/6/16	23.4	31.32	103.3	28.3
		24/6/17	23.5	33.30	103.9	28.9
		24/6/18	23.6	35.27	104.4	29.5
		24/6/19	23.8	37.25	105.0	30.0
		24/6/20	23.9	39.23	105.5	30.6
		24/6/21	24.1	41.21	106.1	31.1
		24/6/22	24.3	43.20	106.6	31.6
		24/6/23	24.4	45.19	107.0	32.1
		24/6/24	24.6	47.18	107.5	32.5
		24/6/25	24.7	49.18	108.0	33.0
		24/6/26	24.9	51.18	108.4	33.4
		24/6/27	25.0	53.18	108.8	33.9
		24/6/28	25.2	55.18	109.3	34.3
		24/6/29	25.3	57.19	109.7	34.7
		24/6/30	25.5	59.20	110.1	35.1

指定混合肥料 J

宮崎市

指定混合肥料 J		年月日	地温 ℃	温度変換日 日	窒素発現量 mgN/100g	日増加量 mgN/100g
基準温度	25	24/6/1	21.8	1.97	32.0	0
A1	17.8	24/6/2	21.9	3.95	36.1	4.1
A2	20.8	24/6/3	22.1	5.93	39.3	7.3
k1	0.163	24/6/4	22.2	7.90	41.7	9.7
k2	0.015	24/6/5	22.3	9.88	43.6	11.6
Ea1	2,373	24/6/6	22.4	11.86	45.1	13.1
Ea2	3551	24/6/7	22.5	13.84	46.3	14.3
B	26.5	24/6/8	22.6	15.82	47.3	15.3
		24/6/9	22.7	17.80	48.2	16.2
		24/6/10	22.8	19.79	48.9	16.9
		24/6/11	22.9	21.77	49.6	17.6
		24/6/12	23.0	23.75	50.2	18.2
		24/6/13	23.1	25.74	50.7	18.7
		24/6/14	23.1	27.72	51.2	19.2
		24/6/15	23.3	29.71	51.6	19.6
		24/6/16	23.4	31.69	52.1	20.1
		24/6/17	23.5	33.68	52.5	20.5
		24/6/18	23.6	35.67	52.9	20.9
		24/6/19	23.8	37.66	53.2	21.2
		24/6/20	23.9	39.65	53.6	21.6
		24/6/21	24.1	41.65	53.9	21.9
		24/6/22	24.3	43.64	54.3	22.3
		24/6/23	24.4	45.64	54.6	22.6
		24/6/24	24.6	47.63	54.9	22.9
		24/6/25	24.7	49.63	55.2	23.2
		24/6/26	24.9	51.63	55.5	23.5
		24/6/27	25.0	53.63	55.8	23.8
		24/6/28	25.2	55.63	56.1	24.1
		24/6/29	25.3	57.63	56.3	24.3
		24/6/30	25.5	59.64	56.6	24.6

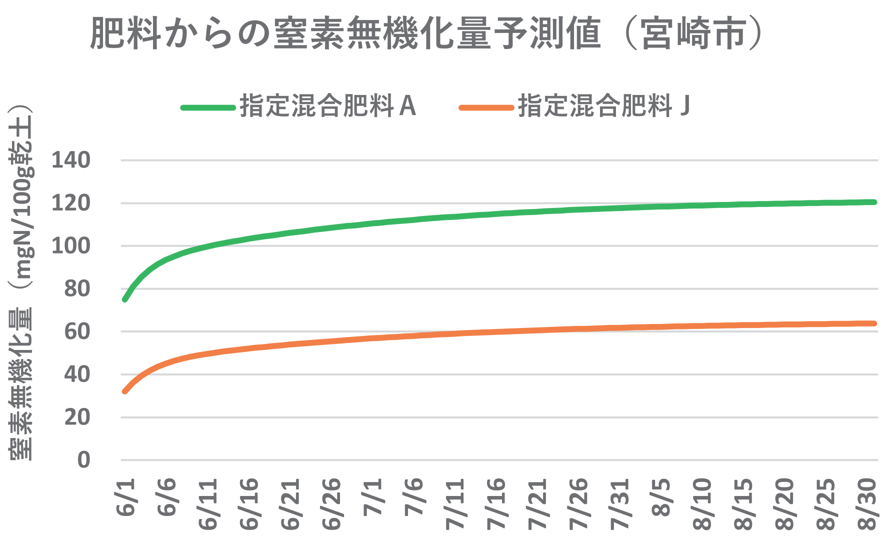


図 8-2　肥料からの窒素無機化量の予測グラフ

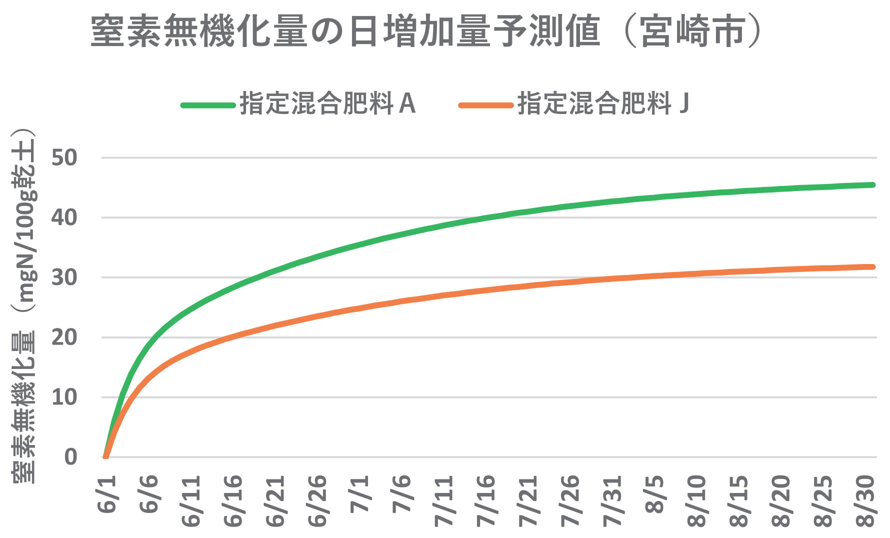


図 8-3　肥料からの窒素無機化量の日増加量の予測グラフ

２）地温条件の異なる国内６地域での窒素発現量の予測・みえる化

国内の６カ所において、指定混合肥料６銘柄の窒素無機化量の予測・みえる化について検討しました。その方法と結果を以下に示しました。

（１）国内６カ所の地点名及び供試肥料について

予測地点として地温条件の異なる国内の６カ所を選定しました。すなわち、温暖地として鹿児島市と宮崎市、中間地として静岡市と下妻市、寒冷地として帯広市と旭川市を選びました。

供試した肥料銘柄としては、グループ分けした肥料の中から、G1：指定混合肥料 A と指定混合肥料 I、G2：指定混合肥料 F と指定混合肥料 H、G3：指定混合肥料 J、G4：指定混合肥料 N を選びました。

（２）地温データの入手方法

国内６カ所における窒素発現量の予測･みえる化のための地温データとして、農研機構の日本土壌インベントリーに収録されている200地点の地温データ(深さ10cm)を活用しました。図 8-4 に農研機構の日本土壌インベントリーのホームページ画面を示しました。また、そこから得られる下妻市の地温データ例を図 8-5 に示しました。

（３）地温条件の異なる６地域における窒素発現量の予測・みえる化の方法

３年間の培養試験結果の解析で得られた、上記指定混合肥料６銘柄の窒素無機化特性値を用い、（２）で得られた地温データに基づいて窒素無機化量を予測・みえる化しました。具体的な方法と手順については、１）の事例を参照して下さい。

（４）窒素無機化量の予測結果について

①窒素無機化特性値と地温データ（2024 年６月１日～８月 31 日）から予測した窒素無機化量は、指定混合肥料 A、指定混合肥料 F、指定混合肥料 H、指定混合肥料 I、指定混合肥料 J、指定混合肥料 N の順となり、肥料銘柄の違いによる差が大でした（図 8-6)。ただ、日増加量は一部の肥料で逆転が起こるところもありました（図 8-7)。一方、地域による無機化量には肥料の銘柄に係らず差が小さいでした（図 8-8)。

②下妻市における月別の窒素無機化量を予測しました。地温の高い６～８月、９～１０月は施用後から窒素無機化が始まり、無機化量が急に高まるのに比べ、３～５月、１２～２月は無機化量が緩やかで傾きがなだらかなことが分かりました（図 8-9)。また、窒素無機化量の予測値は、地温差の大きい３～５月の方が地域差は大きくなりやすく、気温差の小さい６～８月は地域差が小さくなる傾向が認められました（図 8-10)。

図 8-4　農研機構の日本土壌インベントリーの地温データに関する地域選択画面

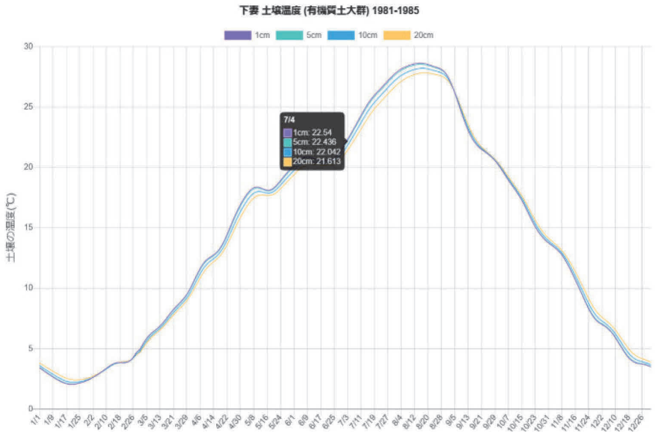


図 8-5　下妻市の地温データのグラフ例（土壌深さ 10cm）

注）1 日ごとの地温データも入手可能（四角い黒塗りの部分

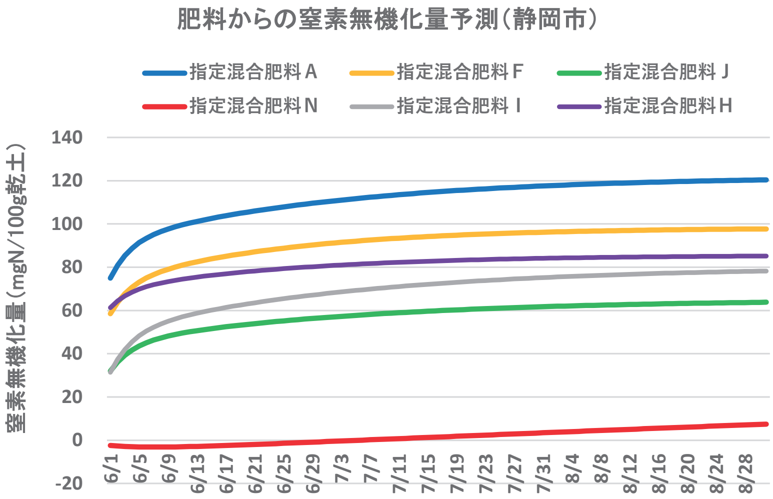


図 8-6　4 銘柄肥料の窒素無機化量予測値（静岡市の例）

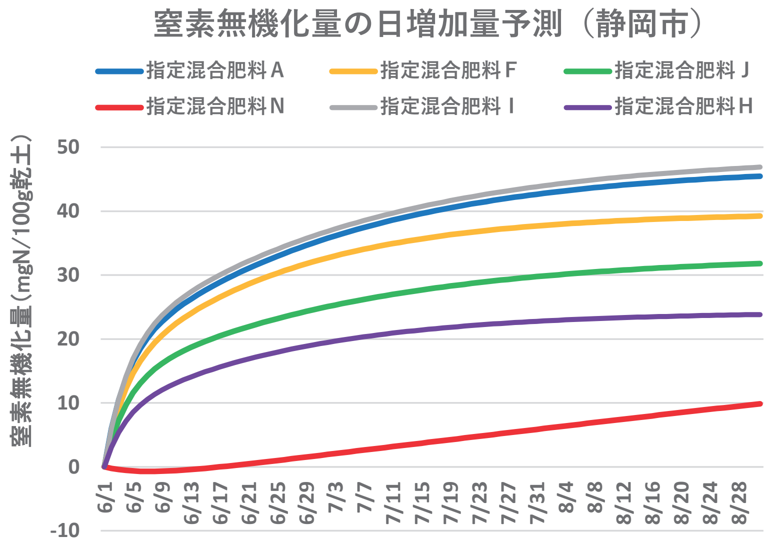


図 8-7　4 銘柄肥料の日増加量予測値（静岡市の例）

注）数値の単位は mgN/100g 乾土。

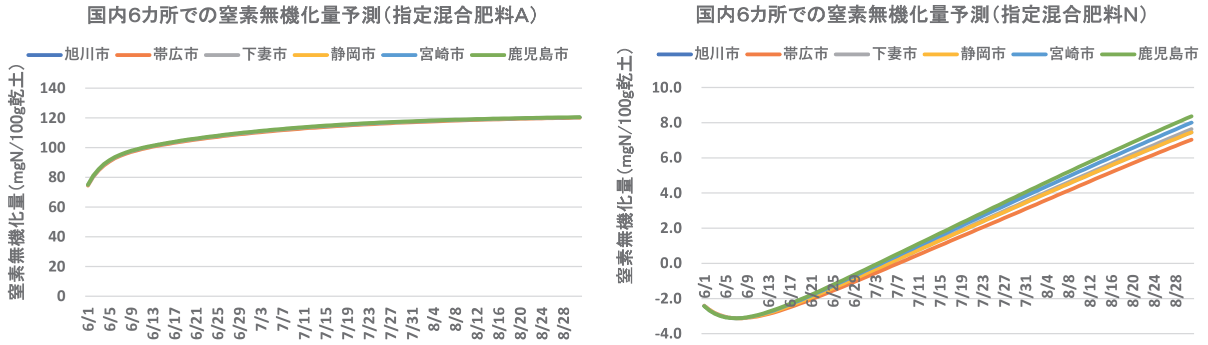


図 8-8　国内 6 カ所における窒素無機化量予測（左：指定混合肥料 A、右：指定混合肥料 N、６～８月）

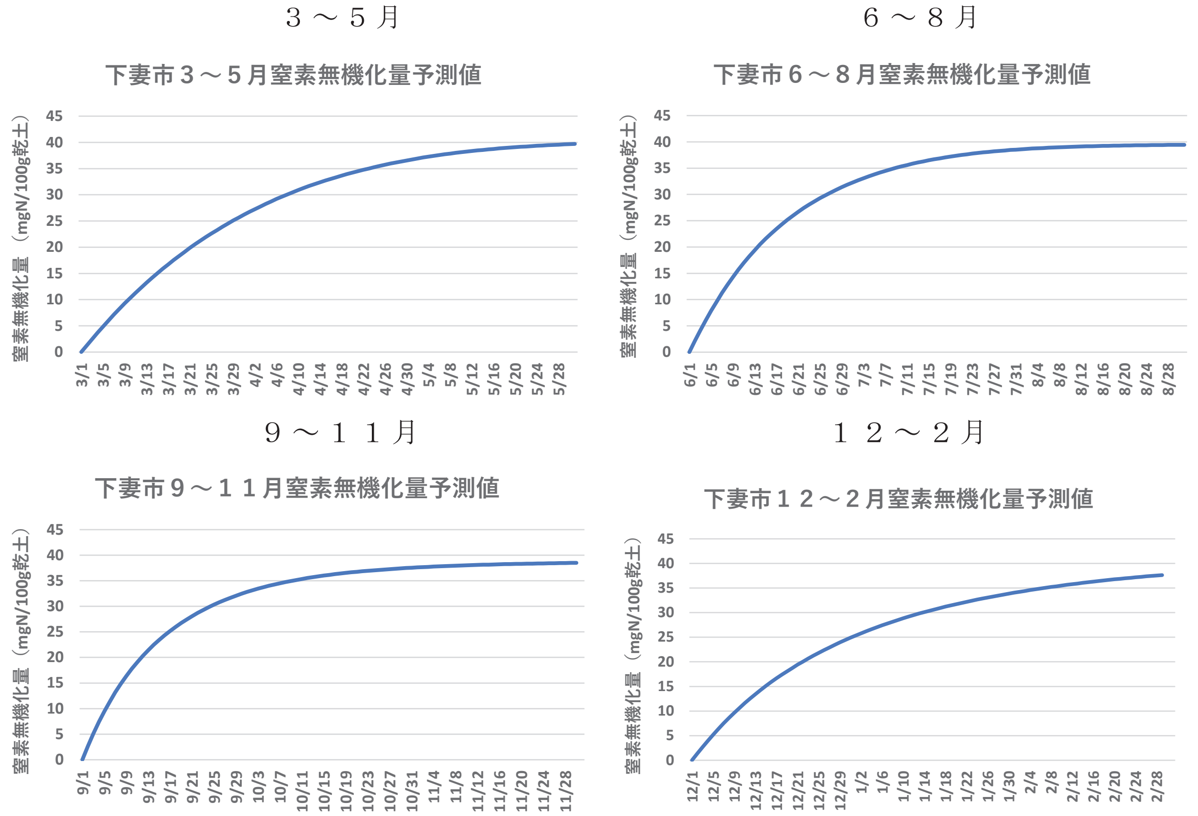


図 8-9　下妻市における月別窒素無機化量（日増加量）の予測例（指定混合肥料 F）

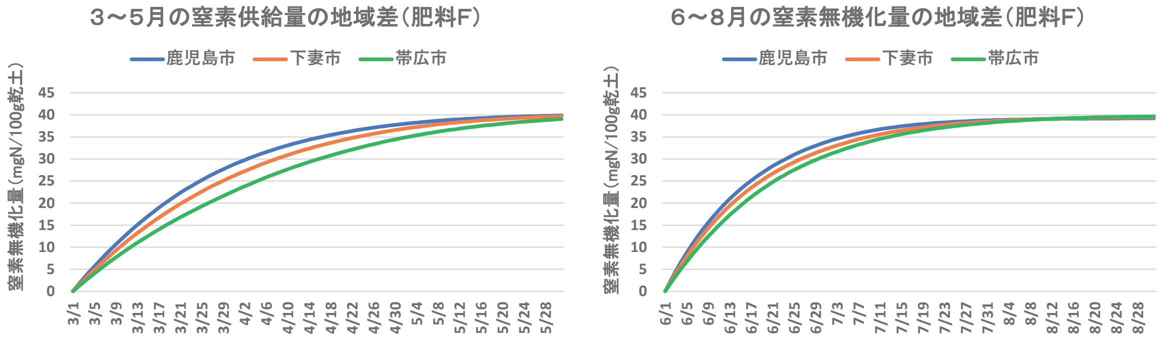


図 8-10　国内 3 カ所における窒素無機化量予測値（日増加量）の季節比較（指定混合肥料 F）

（５）肥料２銘柄（指定混合肥料 F と指定混合肥料 H）の窒素無機化量のみえる化について

窒素無機化特性値と地温から予測した窒素無機化量（反応速度論的手法から予測した）と ADSON 値（酸性デタージェント可溶有機態窒素、この数値が高いほど窒素無機化量が大きくなるとされている）から予測した窒素無機化量の両者を比較検討しました。なお、ADSON 値からの予測値は農研機構の土壌インベントリーに収録されているアプリソフトを用いて予測しました。予測量の計算では、肥料の施用量、地温条件、土壌量などの条件を可能な限り揃えました。ちなみに、ADSON の分析は、農研機構・九州沖縄農業研究センターの古賀伸久氏が行い、分析値の提供を受けました。ここに記して感謝いたします。表 8-3 に ADSON の測定結果を示しました。

表 8-3　指定混合肥料の ADSON の測定結果

肥料銘柄	ADSON値	肥料銘柄	ADSON値
指定混合肥料A	38.9	指定混合肥料J	22.8
指定混合肥料B	18.4	指定混合肥料K	16.4
指定混合肥料C	5.0	指定混合肥料L	11.6
指定混合肥料D	6.3	指定混合肥料M	20.5
指定混合肥料E	26.0	指定混合肥料N	10.2
指定混合肥料F	20.6	指定混合肥料O	10.9
指定混合肥料G	14.0	指定混合肥料P	5.5
指定混合肥料H	17.0	指定混合肥料Q	9.0
指定混合肥料I	42.6		

その結果、ADOSON 値から予測した窒素無機化量は全期間ほぼ平坦で変化が少ないのに対し、反応速度から予測し窒素無機化量は施用直後から増加し、その後フラットに推移しました（図 8-11、図 8-12）。フラット時における両者の差は、指定混合肥料 F が 5kg 以内（無機化量 32kg の 15％以内）、指定混合肥料 H が数 kg 以内（32kg の 10％以内）と少ないでした。このことから、両者はほぼ一致したと判断されました。

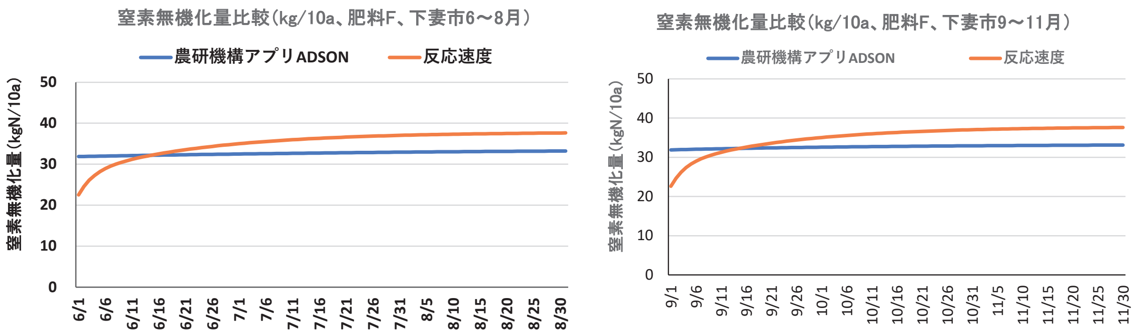


図 8-11　窒素無機化量予測値（反応速度と ADSON による窒素無機化量予測値）の比較

注）肥料は「指定混合肥料 F」、左図：下妻市の 6～８月、右図：下妻市の９～11 月

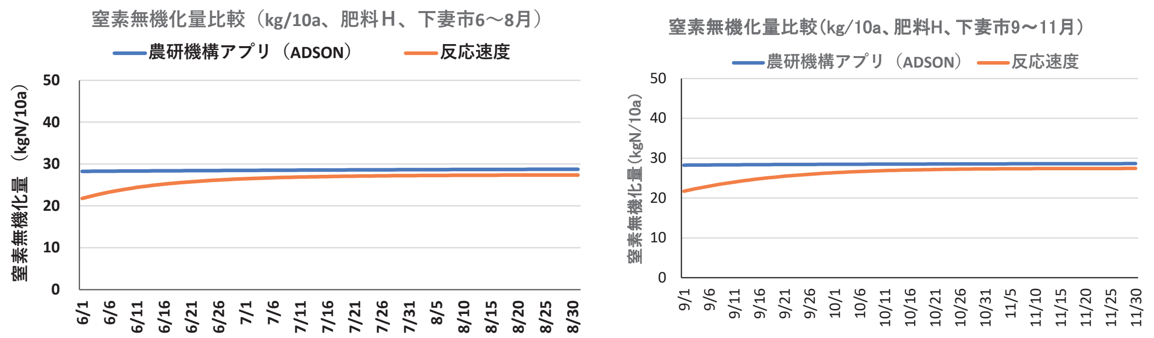


図 8-12　窒素無機化量予測値（反応速度と ADSON による窒素無機化量予測値）の比較

注）肥料は「指定混合肥料 H」、左図：下妻市の 6～８月、　右図：下妻市の９～１１月

３）まとめ

培養試験結果を解析して得られた窒素無機化特性値と地温データに基づいて、国内６カ所の地点における窒素無機化量を予測・みえる化を検討しました。

（１）肥料の窒素無機化特性値と地温データに基づき、エクセルソフトを用いて窒素無機化量を予測する方法を確立しました。

（２）（１）の手法を用いて、国内６カ所の地点において、６銘柄肥料の窒素無機化量を予測しました。窒素無機化量は地域差よりも銘柄の違いによる差の方が大きいことが分かりました。また、窒素無機化量の予測値は、地温差の大きい３～５月の方が地域差は大きくなりやすく、気温差の小さい６～８月は地域差が小さくなる傾向が認められました。さらに、得られた予測値は窒素肥効の目安とされる酸性デタージェント可溶有機態窒素（ADSON）の予測値とほぼ一致しており、（１）の手法による窒素無機化量の予測・みえる化が妥当と判断されました。

９．指定混合肥料からの窒素無機化量の検証

ポイント

肥料からの窒素無機化量の予測値について、６銘柄肥料を供試した２年間のポット栽培試験で検証を行いました。その結果、裸地ポットにおいて土壌中の無機態窒素を一定期間ごとに実測することで、予測値がほぼ検証できました。

１）窒素無機化量の検証試験の方法

（１）供試した肥料、土壌、野菜について

６年度に指定混合肥料 H、指定混合肥料 F、牛 CN23 混合肥料の銘柄、７年度に指定混合肥料 A、指定混合肥料 I、指定混合肥料 J の３銘柄、合計６銘柄を供試しました。

分析結果を表 9-1、保証票情報を表 9-2、窒素無機化特性値の値を表 9-3 に示しました。

６肥料の A（可分解性有機態窒素の割合％）は 12～33、B（無機態窒素の割合％）は 20～67、K（窒素無機化速度定数 day-1）は 0.015～0.204、Ea（窒素無機化速度に対する見かけの活性化エネルギーJmol-1）は 700～10,282 でした。

土壌は６年度が黒ボク土の作土層を、７年度は下層土を用いました。７年度は６年度の土壌より無機態窒素の少ない土壌を調製しました。

野菜品目は２年ともコマツナを用いました。

（２）地温測定の取得方法

研究所内のハウスにおいて、作物を栽培したポットと裸地状態のポットでの地温を測定しました。市販のデジタル温度計を用い、土壌の深さ 10cm の地温を測定しました（写真 9-1）。１時間間隔で測定した地温を日平均地温にまとめて使用しました。６年度の地温変化を図 9-1、７年度の地温変化を図 9-2 に示しました。

（３）窒素無機化量の予測方法

表 9-3 に示した窒素無機化特性値と作物栽培中の地温データを用いて、エクセルソフトにて窒素無機化量を予測しました。それに先立ち Ea 値を用いて 25℃への変換日数を求め、変換日数にてエクセルソフトで窒素無機化量を算出しました。指定混合肥料 A について算出した窒素無機化量の予測値を表 9-6 に例示しました。

（４）施肥設計及び試験方法、調査方法

表 9-4 と表 9-5 に示した施肥設計でコマツナをポット栽培しました。試験区は指定混合肥料３区、化成肥料区及び無施肥区の計５区とし、さらに各区に裸地区、野菜作付け区を設けました。対照区とした化成肥料は市販品の窒素８－リン酸８－カリ８％を使用しました。裸地土壌で一定期間ごとに土壌を採取し、生土の状態で無機態窒素を測定しました。野菜作付け区では収穫時にコマツナによる窒素吸収量を測定しました。

（５）検証の方法

検証の方法としては、前年度の予備試験結果を参考に、裸地土壌での無機態窒素の追跡結果を主体に、コマツナによる窒素吸収量も併せて結果を総合して窒素無機化量を検証しました。

２）窒素無機化量の検証結果

（１）表 9-6 に例示した方法で求めた窒素無機化量の予測値について、６年度の３肥料の予測値のグラフを図 9-3 の左側に、７年度の３肥料のそれを図 9-3 の右側に示しました。６年度３肥料の窒素無機化量は牛 23 混合肥料が最も多く、指定混合肥料 H が最も少なく、指定混合肥料 F はその中間の値となりました。７年度では指定混合肥料 A と指定混合肥料 I の窒素無機化量はほぼ同等で指定混合肥料 J よりもかなり多く、指定混合肥料 J が最も少ないでした。

（２）一方、裸地土壌のポットにおいて一定期間に（0、20、30、40、50 日後）に生土で無機態窒素を測定しました。６年度の結果を表 9-7、７年度の結果を表 9-8 に示しました。６年度の結果では、化成肥料を除く肥料では指定混合肥料 H が指定混合肥料 F や牛 23 混合肥料より多い傾向となり、予測量の傾向と一致しませんでした。７

年度の結果では、指定混合肥料 A が最も多く、予測値の傾向と一致しましたが、指定混合肥料 J、指定混合肥料 I はほぼ同等に推移し、差はみられませんでした。

（３）無機化特性値と地温変化から予測した窒素無機化量の予測量結果と裸地ポットで測定した無機態窒素の結果を比較検討しました（表 9-9、表 9-10）。２年間の結果に共通している点として、裸地ポットで実測した無機態窒素量をみると、土壌を含めた窒素量は予測量とほぼ一致しますが、土壌を除いた窒素量は予測値よりもかなり低くなりました。このことから、窒素無機化特性値と地温データから求めた予測値は、窒素無機化量を過大に評価している可能性が伺えました。

（４）コマツナによる吸収量を測定する方法で窒素無機化量の検証を検討しました。6 年度は、裸地土壌で無機態窒素を実測する方法で得られた結果に比べて、窒素吸収量を測定する方法の結果は予測値とかなりかけ離れて劣っていましたが、７年度の結果では両者がほぼ同等となりました（表 9-11、表 9-12）。

（５）２年間の検証結果を総合しますと、肥料からの窒素無機化量の検証手法としては、作物による窒素吸収量を測定する方法よりも、裸地土壌において無機態窒素を実測する方法が適しており、この手法を用いることで予測値がほぼ検証できることが認められました。ただ、裸地ポットで無機態窒素を実測する場合、土壌全体からいかにして均一な分析サンプルを分取するかを留意する必要があります。また大きいポットにおいて、作物の窒素吸収量が予測値よりも低くなる理由としては、作物の根張りがある程度限定され、ポット内の土壌全体から吸収できていない可能性が考えられます。

表 9-1　供試肥料の分析結果

項目		肥料H	肥料F	牛23混合肥料	肥料A	肥料I	肥料J
成分値	$N-P_2O_5-K_2O$	12-3.4-6	10-10-10	6-5-5	12-5-10	10-3-6	4.0-5.2-4.2
原料堆肥		牛・鶏堆肥	牛・豚堆肥	牛CN23堆肥	豚堆肥	鶏堆肥	牛堆肥
水分	現物%	5.4	4.9	6.3	7.5	8.7	6.2
pH		7.2	6.8	6.4	6.8	7.4	7.1
EC	mS/cm	65	59	17	78	53	19
窒素	乾物%	12.5	10.5	6.2	13.4	10.6	4.1
炭素	乾物%	17	15	33	13	22	29
炭素窒素比		1.3	1.5	5.2	1.0	2.0	6.9
リン酸	乾物%	3.7	11.0	5.4	7.5	3.5	6.8
カリ	乾物%	8.5	11.6	6.1	11	7.6	5.5
石灰	乾物%	2.5	2.5	5.7	3.2	8.5	12
苦土	乾物%	2.0	1.1	1.6	1.5	0.6	6.9
推定肥効率%	窒素	84	94	66	100	72	60
	リン酸	88	90	77	88	87	87
	カリ	98	95	98	95	98	90

注）窒素の推定肥効率は窒素無機化特性値を用いた25℃90日の窒素無機化率より、
リン酸とカリの推定肥効率は2%クエン酸によるく溶率より求めた。

表 9-2　上記肥料の保証票情報

肥料銘柄	肥料H	肥料F	牛23混合肥料	肥料A	肥料I	肥料J
成分値	12-3.4-6.0	10-10-10	6-4-4	12-5-10	10-3-6	4-5.2-4.2
原料堆肥	牛・鶏堆肥	牛・豚堆肥	牛堆肥	豚堆肥	鶏堆肥	牛堆肥
窒素	12	10	6	12	10	4
アンモニア態窒素	9.4	8.1	1.5	8.5	6	1.8
アンモニア/窒素	78	81	25	71	60	45
リン酸	3.4	10	4.3	5	3	5.2
く溶性リン酸	3	9	3.3	2.2	2.6	4.5
水溶性リン酸	1.9	6.4	1.3	2	1.5	2.8
カリ	6	10	4.4	10	6	4.2
く溶性カリ	6	9.6	4.3			4
水溶性カリ	5.9	9.5	4	9.3	6	3.6
材料内容						
普通肥料割合	60	60	60	70	60	50
特殊肥料割合	40	40	40	30	40	30
土壌改良資材割合						20
普通肥料	硫安	尿素	硫安	尿素	硫安	化成肥料
	塩化加里		尿素		動物かす粉末	塩化加里
	化成肥料		過石		塩化加里	硫安
	尿素		石膏		化成肥料	尿素
	微量要素複合肥料					微量要素複合肥料
						過石
特殊肥料	牛ふん	牛ふん堆肥	牛ふん	豚ふん堆肥	鶏ふん堆肥	牛ふん堆肥
	鶏ふん	米ぬか	ひまし油粕	米ぬか		オガクズ
	植物残さ		米ぬか			石灰
	稲わら		鶏ふん燃焼灰			活性炭
	もみがら		副産肥料パーム			米ぬか
	米ぬか					
土壌改良資材						泥炭
						炭カル

表 9-3　供試肥料の窒素無機化特性値

肥料銘柄	モデル2　Y=A1x(1−EXP(−K1xT))+A2x(1−EXP(−K2xT))+B					
	窒素無機化特性値						
	A1	A2	B	K1	K2	Ea1	Ea2
指定混合肥料H	16.7	11.7	9.3	0.185	0.020	1,874	10,282
指定混合肥料F	20.3	26.6	8.7	0.181	0.021	973	4,651
牛23混合肥料	32.7	20.5	2.3	0.204	0.027	700	9,871
指定混合肥料A	24.4	30.8	10.1	0.181	0.016	4,922	8,290
指定混合肥料I	25.9	30.9	6.7	0.163	0.015	2,451	4,951
指定混合肥料J	17.8	20.8	1.7	0.163	0.015	2,373	3,551

注）A1：無機化しやすい有機態窒素(%)、A2：遅れて無機化する有機態窒素（%）、
B：無機態窒素(%)、K：無機化速度定数（日$^{-1}$）、Ea：活性化エネルギー（J mol^{-1}）

表 9-4　窒素発現量の検証ポット試験の施肥設計（6 年度 1/2000 a ポット使用、野菜はコマツナ）

試験区	現物施用量g/pot	乾物施用量g	1a/2000ポット当たり g 窒素	リン酸	カリ	化学肥料による補充 リン酸	カリ
無肥料	0	0	0	0	0	−	−
指定混合肥料H	9.8	9.5	1.0	0.3	0.5	0.5	0.3
指定混合肥料F	10.7	10.2	1.0	1.0	1.0	−	−
牛23混合肥料	21.2	19.8	1.0	0.8	0.8	−	−
施肥基準量		g/ポット	1.0	0.75	0.75	過リン酸石灰	硫酸カリ
		kg/10a	20	15	15	3.0g	0.6g

化成肥料	1a/2000ポット当たり g 窒素	リン酸	カリ
	化成肥料(8-8-8%)		
施肥基準量g	1.0	0.75	0.75
肥料量g	12.5		
施肥量g	1.0	1.0	1.0

表 9-5　窒素発現量の検証ポット試験の施肥設計（7 年度 1/5000 a ポット使用、野菜はコマツナ）

試験区	現物施用量g/pot	乾物施用量g	1a/5,000ポット当たり g 窒素	リン酸	カリ	化学肥料による補充 リン酸	カリ
無肥料	0	0	0	0	0	−	−
指定混合肥料A	3.8	3.5	0.43	0.24	0.37	0.16	−
指定混合肥料I	5.4	5	0.44	0.17	0.39	0.23	−
指定混合肥料J	16.5	15.5	0.43	0.98	0.82	−	−
施肥基準量		g/ポット	0.4	0.3	0.3	過リン酸石灰	
		kg/10a	20	15	15	1.28g	0.89g

化成肥料	1a/5,000ポット当たり g 窒素	リン酸	カリ
	化成肥料(8-8-8%)		
施肥基準量g	0.4	0.3	0.3
肥料量g	5.0		
施肥量g	0.4	0.4	0.4

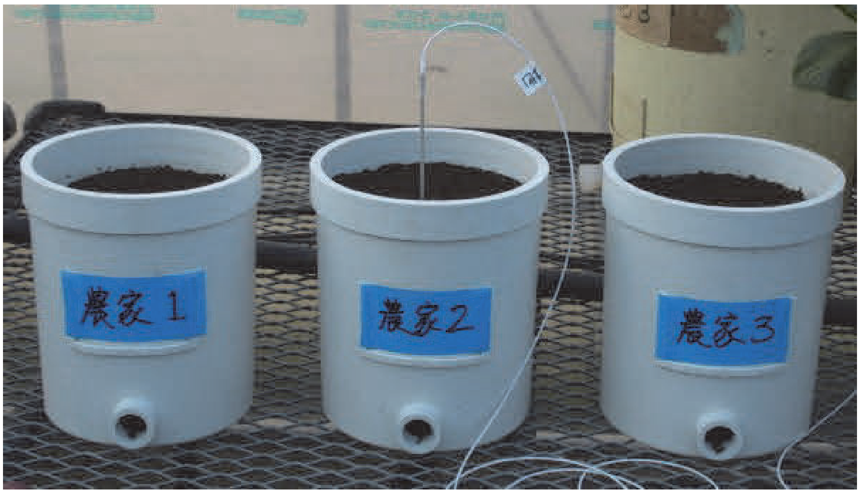


写真 9-1　裸地ポットでの地温測定の様子（7 年度）

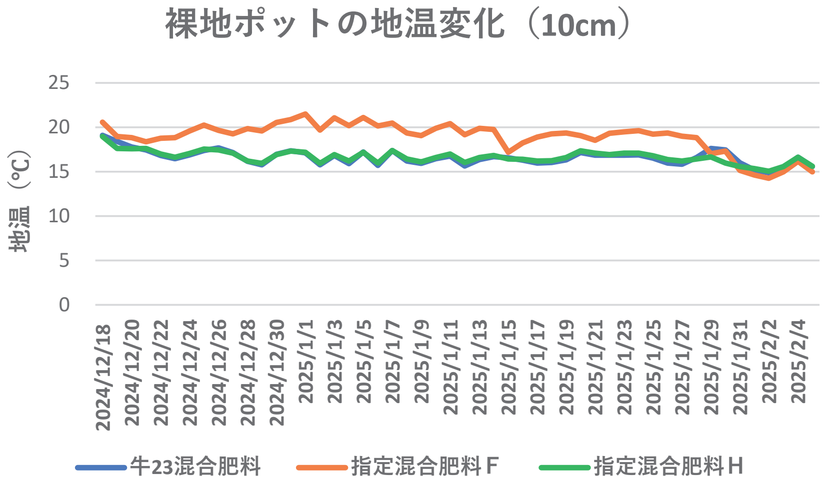


図 9-1　　ポット栽培試験における裸地土壌の地温（日平均）の変化（6 年度）

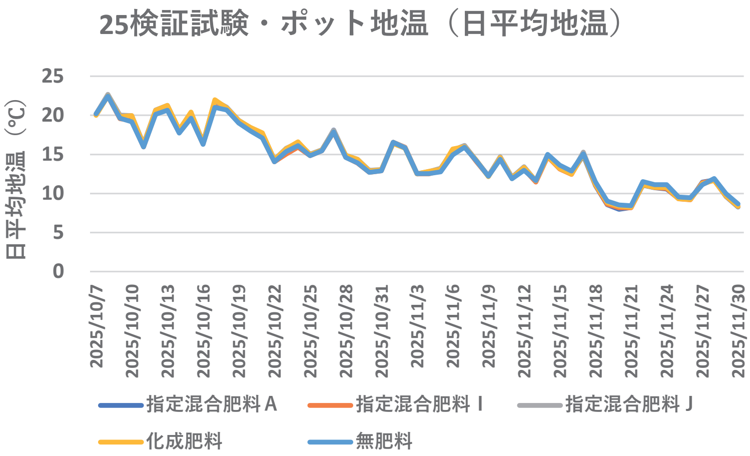
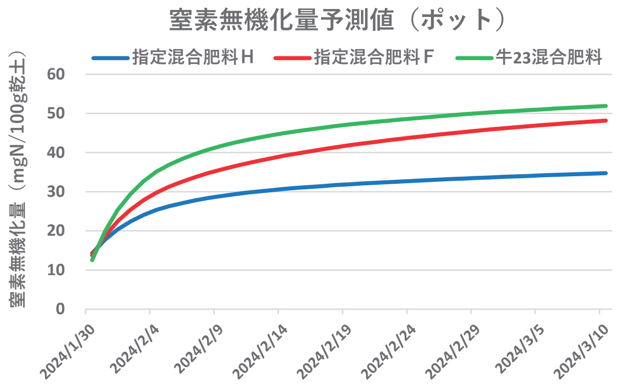


図 9-2　ポット栽培試験における裸地土壌の地温（日平均）の変化（7 年度）

表 9-6　肥料の窒素無機化特性値と地温変化に基づく窒素無機化量の予測計算例（エクセルソフト利用、肥料銘柄は指定混合肥料 A）

「指定混合肥料A」の窒素無機化量の予測値計算

年月日	地温 ℃	温度変換積算日数	窒素無機化量 mgN/100g	窒素無機化量の日増加量
2025/10/7	20.1	1.66	14.7	0
2025/10/8	22.5	3.49	20.6	5.9
2025/10/9	19.7	5.13	24.7	10.0
2025/10/10	19.6	6.75	27.9	13.2
2025/10/11	16.2	8.18	30.1	15.5
2025/10/12	20.4	9.87	32.3	17.7
2025/10/13	21.0	11.58	34.1	19.5
2025/10/14	17.9	13.11	35.5	20.8
2025/10/15	20.0	14.77	36.7	22.0
2025/10/16	16.4	16.21	37.6	23.0
2025/10/17	21.5	17.96	38.6	24.0
2025/10/18	20.9	19.68	39.5	24.9
2025/10/19	19.2	21.28	40.3	25.6
2025/10/20	18.3	22.83	40.9	26.3
2025/10/21	17.4	24.33	41.5	26.9
2025/10/22	14.2	25.66	42.0	27.4
2025/10/23	15.5	27.04	42.5	27.9
2025/10/24	16.2	28.47	43.0	28.4
2025/10/25	14.9	29.83	43.5	28.8
2025/10/26	15.5	31.22	43.9	29.3
2025/10/27	18.1	32.76	44.4	29.7
2025/10/28	14.8	34.11	44.8	30.2
2025/10/29	14.1	35.43	45.2	30.5
2025/10/30	12.8	36.68	45.5	30.9
2025/10/31	13.0	37.94	45.9	31.2
2025/11/1	16.5	39.39	46.3	31.6
2025/11/2	15.9	40.80	46.7	32.0
2025/11/3	12.5	42.04	47.0	32.3
2025/11/4	12.6	43.28	47.3	32.6
2025/11/5	13.1	44.55	47.6	32.9
2025/11/6	15.5	45.94	47.9	33.3
2025/11/7	16.1	47.36	48.3	33.6
2025/11/8	14.2	48.68	48.6	33.9
2025/11/9	12.2	49.91	48.8	34.2



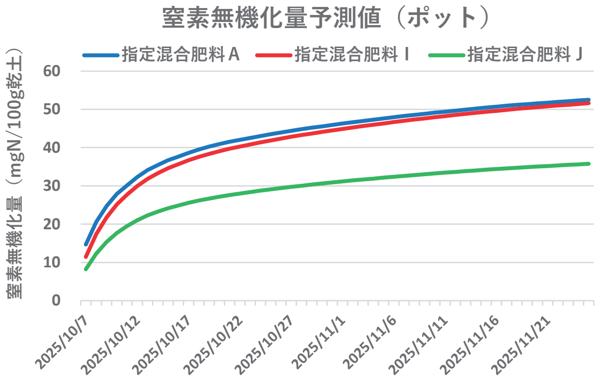


図 9-3　ポット栽培における 6 銘柄肥料の窒素無機化量の予測値
（左 ： 6 年度、右 ： 7 年度のポット実証試験）

表 9-7　ポット裸地区における無機態窒素（合計量）の実測値（６年度）

日数(日)	無肥料	指定混合肥料H	指定混合肥料F	牛23混合肥料	化成肥料
0	10.3	24.6	23.1	22.5	28.7
20	11.6	36.2	32.9	34.2	41.7
30	12.4	38.4	37.6	35.6	43.6
40	13.3	40.1	40.1	37.6	44.3
0日理論値	−	25.5	23.9	8.8	27.6

注)数値の単位はmgN/100g乾土

表 9-8　ポット裸地区における無機態窒素の実測値（７年度）

日数(日)	無肥料	指定混合肥料A	指定混合肥料I	指定混合肥料J	化成肥料
0	14.8	18.8	16.8	18.1	19.5
20	15.6	43.9	37.6	40.5	42.1
30	17.4	44.1	39.4	41.5	41.6
40	18.5	46.2	43.2	44.0	42.7
50	19.7	49.5	46.4	46.8	43.4

注)数値の単位はmgN/100g乾土

表 9-9　ポット栽培における窒素無機化量の検証（６年度）

施用後の日数(日)	指定混合肥料H		指定混合肥料F		牛23混合肥料	
	無機化量予測値	裸地ポット実測値	無機化量予測値	裸地ポット実測値	無機化量予測値	裸地ポット実測値
20	31.9	24.5(36.2)	41.8	21.3(32.9)	47.2	22.6(34.2)
30	33.5	26.0(38.4)	45.6	25.2(37.6)	50.0	23.1(35.6)
40	34.7	26.8(40.1)	48.2	26.8(40.1)	51.9	24.3(37.6)

注1)裸地実測値は無肥料区の値を差し引いた数値、カッコ内は含めた値。
注2)数値の単位はmgN/100g乾土

表 9-10　ポット栽培における窒素無機化量の検証（７年度）

施用後の日数(日)	指定混合肥料A		指定混合肥料I		指定混合肥料J	
	無機化量予測値	裸地ポット実測値	無機化量予測値	裸地ポット実測値	無機化量予測値	裸地ポット実測値
20	44.4	28.2(43.9)	42.8	22.0(37.6)	29.7	24.9(40.5)
30	47.9	26.7(44.1)	46.7	22.0(39.4)	32.4	24.1(41.5)
40	50.7	27.8(46.2)	49.6	24.7(43.2)	34.4	25.5(44.0)
50	53.4	29.8(49.5)	51.8	26.7(46.4)	35.9	27.2(46.8)

注)裸地ポット実測値は無肥料区の値を差し引いた値、
カッコ内は土壌を含めた値。単位はmgN/100g乾土。

表 9-11　　窒素無機化量予測値とコマツナによる吸収量の結果（６年度）

肥料	予測値（無機態窒素） g/ポット	コマツナ窒素吸収量 g/ポット
指定混合肥料H	**0.97**	**0.17**
指定混合肥料F	**0.97**	**0.20**
牛23混合肥料	**0.88**	**0.21**
化成肥料	**1.12**	**0.13**

注）予測値はポット当たりに換算、コマツナの吸収量は42日目

表 9-12　　窒素無機化量予測値とコマツナによる吸収量の結果（７年度）

肥料	予測値（無機態窒素） g/ポット	コマツナ窒素吸収量 g/ポット
指定混合肥料Ａ	**0.20**	**0.29**
指定混合肥料Ｉ	**0.20**	**0.21**
指定混合肥料Ｊ	**0.21**	**0.22**
化成肥料	**0.37**	**0.21**

注）予測値はポット当たりに換算、コマツナの吸収量は42日目

３）まとめ

２年間の検証結果から、肥料からの窒素無機化量の検証手法として裸地土壌において無機態窒素を実測する方法が適しており、この手法を用いることで予測値がほぼ検証できること、しかも窒素無機化特性値と地温データに基づいて、窒素無機化量の予測・みえる化が可能といえます。

指定混合肥料の連用による土壌地力増強効果と
利用技術に関する手引き

令和８年３月３１日発行

発行：一般財団法人　畜産環境整備機構
　〒105-0001　東京都港区虎ノ門５丁目 12 番１号（ワイコービル 3 階）
　TEL　03-3459-6300／FAX　03-3459-6315

編集及び連絡先：一般財団法人　畜産環境整備機構　畜産環境技術研究所
　〒961-8061　福島県西白河郡西郷村大字小田倉字小田倉原１
　TEL　0248-25-7777／FAX　0248-25-7540
メールアドレス：ilet@chikusan-kankyo.jp
ホームページ：https://www.chikusan-kankyo.jp