

野菜作における可給態窒素レベルに応じた 窒素施肥指針作成のための手引き



農林水産省委託プロジェクト研究
「生産コストの削減に向けた効率的かつ効果的な施肥技術の開発」

(2015～2019)
適正施肥技術コンソーシアム

表紙写真

- 左上：可給態窒素簡易診断による施肥設計を生産者に提示
- 右上：可給態窒素診断による施肥設計を基に施肥作業を実施
- 左下：耕耘・畝立て作業(右奥)とキャベツ苗の移植作業(左手前)
- 右下：可給態窒素診断を活用して生育の揃った収穫前のレタス畑

目次

1章 はじめに

1-1 背景	1
1-2 本書の内容	2

2章 可給態窒素レベルに応じた施肥指針の作成手順

2-1 施肥指針作成にあたって	3
2-2 本書の使い方	4
2-3 作型の異なる野菜での指針作成事例（鹿児島県）	7
2-4 施設野菜における指針作成事例（岩手県）	9
2-5 高冷地・マルチ栽培での指針作成事例（長野県）	11
2-6 現地実態調査に基づく指針作成事例（愛知県）	13
2-7 可給態および無機態窒素を考慮した指針作成事例（茨城県）	15

3章 現地実証の事例紹介（可給態窒素だけでなくリン酸、カリを含めた実証）

3-1 現地実証の概要	17
3-2 加工・業務用キャベツでの現地実証（鹿児島県）	19
3-3 施設夏秋トマトでの現地実証（岩手県）	21
3-4 夏秋どりはくさいでの現地実証（長野県）	23
3-5 秋冬キャベツでの現地実証（愛知県）	25
3-6 秋どりレタスでの現地実証（茨城県）	27

4章 可給態窒素を窒素施肥量の加減に活用するための考え方

4-1 可給態窒素とは	29
4-2 可給態窒素の窒素施肥への活用	29
4-3 可給態窒素から窒素無機化量を推定するために	30
1) 土壌水分 2) 地温 3) 速度論的窒素無機化量の予測	
4) 窒素無機化量の地域間差 5) 窒素無機化として換算する土壌の深さ	

5章 可給態窒素を窒素施肥量に換算する表計算シート「パックちゃん」を用いた施肥指針作成の手引き

5-1 表計算シート「パックちゃん」とは	34
5-2 パックちゃん Ver5.1 の計算のしくみ	35
5-3 パックちゃん Ver5.1 を使った窒素施肥基準案の作成手順	36

6章 可給態窒素簡易測定法に関する参考資料

6-1 可給態窒素の年次変動	39
6-2 可給態窒素簡易測定法（測定詳細手順）	40
6-3 分光光度計を活用した可給態窒素簡易判定法の数値化	46

7章 おわりに	49
---------	----

1章 はじめに

1-1 背景

2008年の肥料原料価格高騰を機に、土壌診断を活用した適正施肥が推進されています。特に、価格上昇の程度が大きかったリン酸やカリでは、各地域で土壌診断結果に基づく施肥の研究が行われ、これらの成果は減肥指針として公表されてきました。

一方、窒素は作物の生育・収量・品質に最も大きな影響を及ぼす養分ですが、土壌の窒素診断に基づく施肥指針はほとんど公表されていません。

土壌の窒素診断項目には無機態窒素と可給態窒素があります。なかでも窒素肥沃度の指標である可給態窒素は、土壌の作物生産力を左右する重要な診断項目です。

土壌の可給態窒素は、30℃の恒温器で4週間培養し、培養期間内に無機化した窒素量を測定して求めますが、結果を得るまでに時間を要し、また測定の手順も煩雑であるため、土壌分析のルーチンの業務には使用しにくく、土壌の窒素肥沃度に応じた窒素施肥を妨げる一因になっていました。

これを解決するために、近年、「80℃16時間水抽出とCOD簡易測定キットによる畑土壌可給態窒素の簡易・迅速評価法」が提案され、簡易・迅速な測定が可能になりました。

土壌の可給態窒素は、窒素肥沃度の指標（地力増進基本指針における普通畑の目標値；乾土100g当たり5mg以上）として位置づけられていますが、可給態窒素レベルに応じて作物栽培期間中の窒素発現量が推定できれば、窒素施肥量の加減にも活用できます。

そこで、農林水産省委託プロジェクト研究「生産コストの削減に向けた効率的かつ効果的な施肥技術の開発（2015～2019）」では、野菜作における可給態窒素の簡易・迅速診断を活用した窒素の施肥指針作成に取り組みました。

1-2 本書の内容

野菜作において、土壌診断に基づく適正な窒素施肥量を求めるには、栽培期間中に、土壌から、どの時期にどのくらいの窒素発現量があるかを予測する必要があります。この予測作業は非常に複雑で、精度を高めるためには、図 1-1 のように地温や作物の窒素利用率（施肥した窒素を作物が吸収する割合）など、土壌条件や野菜の生育に関する多くの情報が必要です。

本プロジェクト研究を進めていくなかで、可給態窒素レベルに応じた野菜作の窒素適正施肥指針について、全国統一基準を示すのは難しいことがわかりました。これは、土壌からの窒素発現が、土壌の種類、地温、水分(降雨量)等によって、大きく異なるためです。

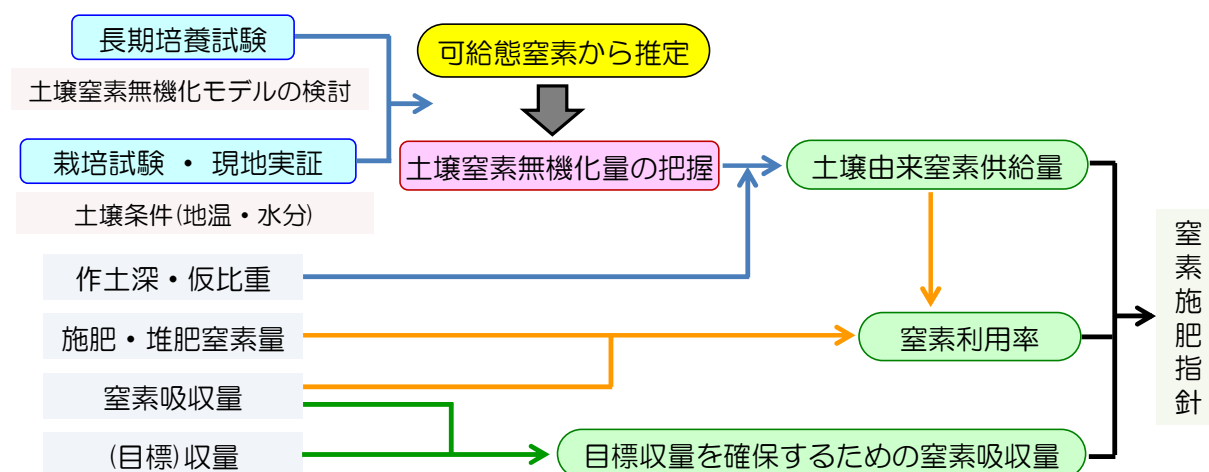


図1-1 窒素施肥指針作成のイメージ

そこで、本書では、各地域において「可給態窒素レベルに応じた野菜の窒素施肥指針」を作成するための考え方や手順を示すこととしました。窒素施肥指針をより効率的に作成するために、必要な情報を整理し、栽培試験・現地実証によって妥当性を検証しながら、各地域の野菜作の実態に合致した窒素施肥指針づくりにご活用ください。

まず、2章では「可給態窒素レベルに応じた施肥指針の作成手順」として、必要な情報について整理し、本プロジェクト研究に参画した5県の取り組みについて紹介しました。農業関係の公設試験研究機関等が主体になって施肥指針を作成することをイメージしています。

3章では、現地実証の事例を紹介しました。ここでは、各地域で既存のリン酸・カリの減肥指針も活用し、また収益性についても比較しました。これは、地域の指導機関が産地で実証しながら、あるいは大規模農家が自分の栽培体系に合致した指針を作成するイメージです。

4章では、可給態窒素について、その数値の意味と窒素施肥の加減に活用するための考え方を示しました。

5章では、可給態窒素レベルに応じた窒素施肥指針を簡易に作成できる計算シートについて紹介しました。過去の研究データや、このプロジェクト研究で収集した研究事例等を活用して作成しました。

6章では、可給態窒素の簡易測定法に関する資料（測定の流れなど）を掲載しました。

2章 可給態窒素レベルに応じた施肥指針の作成手順

2-1 施肥指針作成にあたって

窒素は作物の生育、収量、品質に最も大きな影響を及ぼす養分です。窒素の供給が不足すると生育不足で目標収量が得られません。一方、供給が過剰になると過繁茂になったり、軟弱徒長な生育で病害虫の抵抗性が低下したりして、収量、品質の低下を招きます（図 2-1-1）

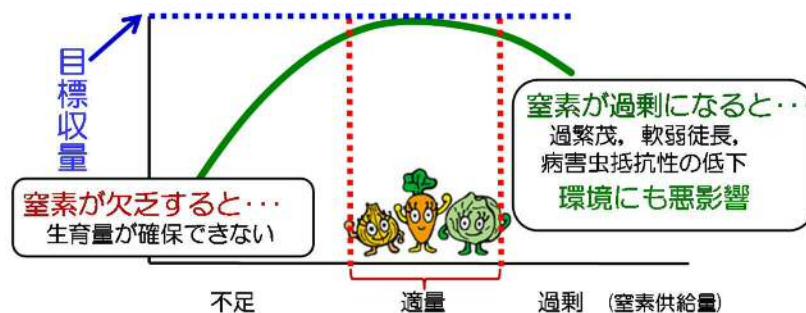


図2-1-1 窒素の供給量と作物収量の関係

野菜作において窒素は、肥料、堆肥、土壌などから供給されます（図 2-1-2）。目標収量を得るためには適量な窒素供給が必要で、土壌からの窒素供給量（可給態窒素）を把握して、過不足する窒素量を窒素施肥で調整する必要があります。これが可給態窒素レベルに応じた施肥です。



土壌中の有機物は**土壌微生物**によって分解され、
有機物由来の窒素は無機態窒素として作物に吸収される

図2-1-2 窒素の供給と野菜の窒素吸収

図 2-1-2 に示したように、土壌中の有機物は土壌微生物によって分解され、無機態窒素となって作物に供給されます。土壌微生物の活動は、土壌環境、特に地温に大きく影響を受け、地温が高い時期は土壌微生物の活動が盛んで、有機物の分解が進み土壌からの窒素供給が多く、地温が低い時期には少なくなるサイクルを繰り返していきます。したがって、同じ圃場であっても、栽培する野菜の時期によって、土壌から供給される窒素量は異なります（図 2-1-3）。

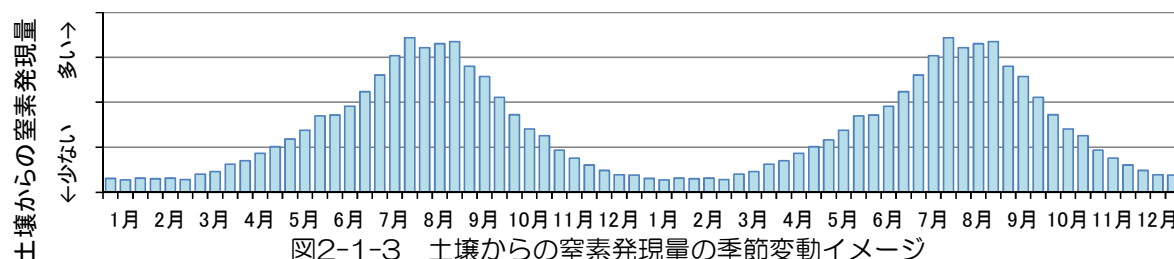


図2-1-3 土壌からの窒素発現量の季節変動イメージ

では、露地野菜畑の可給態窒素レベルはどの程度でしょうか。図 2-1-4は愛知県と鹿児島県で調査した露地畑における可給態窒素の分布を示したものです。一般に、施肥基準は目標収量を確保するのに必要な施肥量であり、窒素の場合は中庸な窒素肥沃度を想定して設定されています。中庸な窒素肥沃度は地域によって異なりますが、おおむね可給態窒素 3mg/100g です。

したがって、可給態窒素 3mg/100g 程度であれば標準施肥、それ以上ならば可給態窒素レベルに応じて窒素肥料を減じる必要があります。一方、可給態窒素が 3mg/100g 未満の場合は、まず、堆肥等の有機物施用による土づくりによって、可給態窒素レベルを上げることが必要です。ただし、可給態窒素を上げるのには時間がかかりますので、その間は、目標収量確保のために窒素肥料を施肥基準よりも増量して補完します（図 2-1-5）。

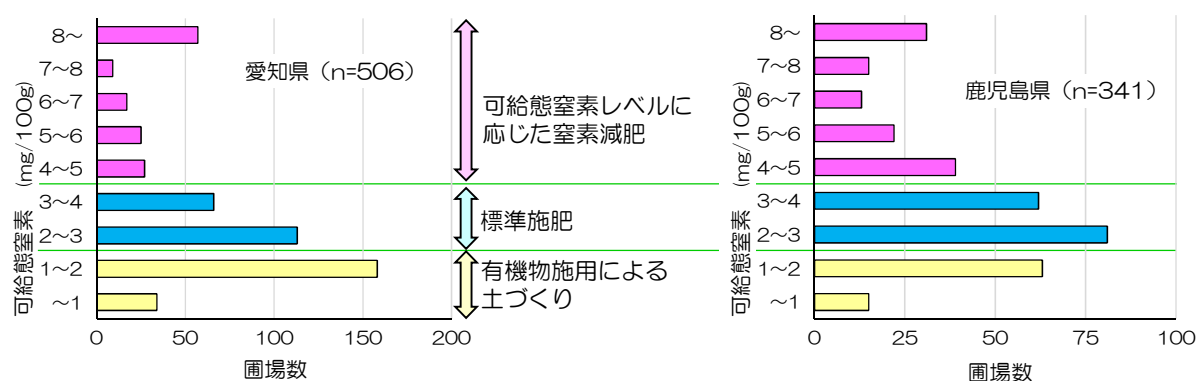


図2-1-4 可給態窒素レベルの分布状況と施肥対応

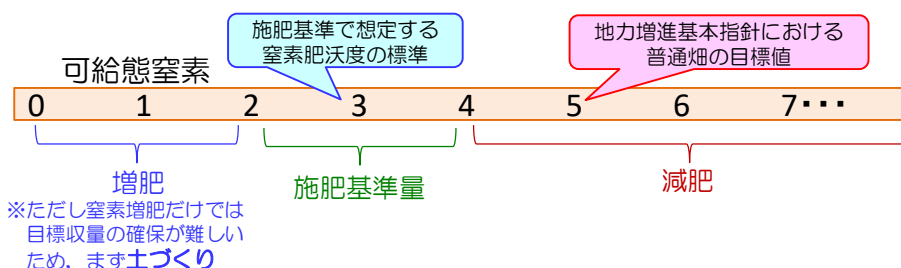


図2-1-5 可給態窒素レベルと窒素施肥対応

※ただし、地域（土壌や作物の違い）によって「施肥基準量」の対象範囲は異なる

2-2 本書の使い方

野菜の栽培期間中に、土壌からどの程度の窒素が供給され（窒素無機化量）、その窒素をどの程度、野菜が吸収するのか？（窒素利用率）を把握するためには、多くの情報が必要で、情報量が多いほど、精度が高い窒素施肥指針が作成可能になります。

そこで、本書では岩手、茨城、長野、愛知および鹿児島県の5県で実施したプロジェクト研究から、場内試験（試験研究機関での基準作成をイメージ）を2章、現地実証（普及現場で実証しながら地域基準を作成するイメージ）を3章に掲載しました。これらのうち、地域に合致した情報量や事例を参考にして、各地域で可給態窒素レベルに応じた窒素施肥指針の作成に活用してください。

どの程度の情報（土壌タイプ、地温、土壌水分、土壌有機物の種類等）を有しているかによって作成手順が異なりますので、作成に関するフローチャート（図 2-2-1）と本プロジェクト研究に参画した県で作成した窒素施肥指針作成の取り組み概要（表 2-2-1）を示します。

2章 可給態窒素レベルに応じた施肥指針の作成手順

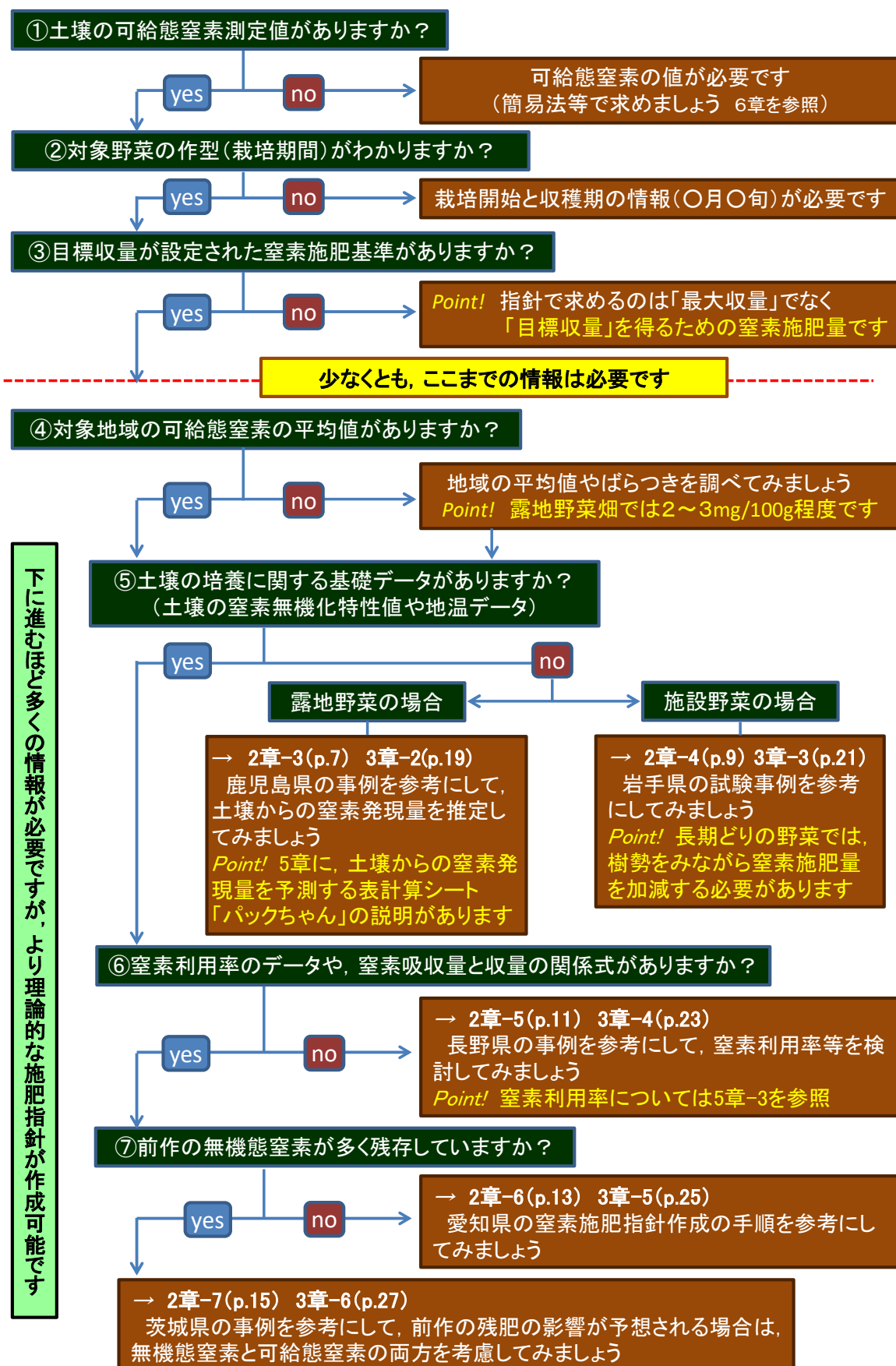


図 2-2-1 可給態窒素レベルに応じた施肥指針作成のためのフローチャート

表 2-2-1 可給態窒素レベルに応じた施肥指針作成の取り組み概要

章・節	タイトル	担当県	対象作物	窒素無機化量の推定と可給態窒素から施肥窒素への換算方法	換算に用いたデータ	特記事項
2 3	作型の異なる野菜での指針作成事例	鹿児島県	・ 晩初夏まきキャベツ	<ul style="list-style-type: none"> ・ 窒素無機化量は栽培期間の地温データから推定する ・ 推定した窒素無機化量を単位面積当たりに換算し、窒素肥料換算量として算出する 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 可給態窒素 ・ 施肥基準 ・ 栽培期間 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 作型ごとの平均地温データから、可給態窒素1mg/100gが窒素施肥量で何kg/10aに相当するか試算する ・ 土壌から無機化する窒素量は地温の影響が大きい
2 4	施設野菜における指針作成事例	岩手県	・ 施設夏秋トマト	<ul style="list-style-type: none"> ・ 可給態窒素レベルが異なる試験区において無窒素栽培で窒素吸収量を比較する ・ 可給態窒素と窒素吸収量の関係から窒素肥料換算量を算出する 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 可給態窒素 ・ 地温 ・ 目標収量 ・ 施肥基準 ・ 窒素吸収量 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 可給態窒素1mg/100gを窒素施肥量3kg/10aに換算する ・ 無機化する土壌の深さを30cm程度にする
2 5	高冷地・マルチ栽培での指針作成事例	長野県	・ 夏秋ハクサイ	<ul style="list-style-type: none"> ・ 可給態窒素レベルが異なる試験区において標準窒素施肥で栽培して比較する ・ 作型や地域などの栽培条件ごとに窒素施肥換算量を求める 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 可給態窒素 ・ 地温 ・ 無機化特性値 ・ 目標収量 ・ 施肥基準 ・ 窒素吸収量 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 施肥基準を考慮し、可給態窒素3mg/100g以下では窒素増肥、それ以上では窒素減肥が可能とする ・ マルチ栽培のため、窒素利用率が高い
2 6	現地実態調査に基づく指針作成事例	愛知県	・ スカイベツコーン	<ul style="list-style-type: none"> ・ 土壌を長期培養し、反応速度論的解析で窒素無機化量を推定する ・ 可給態窒素レベルの異なる試験区における窒素吸収量から窒素利用率を求めて換算する 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 無機化特性値 ・ 可給態窒素 ・ 地温 ・ 目標収量 ・ 窒素利用率 ・ 窒素吸収量 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 土壌の種類別に、目標収量を得るために必要な窒素吸収量を求め、可給態窒素レベルに応じた施肥指針案を作成する
2 7	可給態および無機態窒素を考慮した指針作成事例	茨城県	・ 春どりレタス	<ul style="list-style-type: none"> ・ 施肥窒素、可給態窒素、無機態窒素と窒素吸収量の関係性から、それぞれの窒素の寄与を検討する ・ 可給態窒素レベルの異なる試験区で検証する 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 可給態窒素 ・ 無機態窒素 ・ 地温 ・ 窒素吸収量 ・ 収量・品質 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 土壌の無機態窒素も考慮した診断施肥式を作成する (秋どりレタスで先行して普及情報を公表済、2012) ・ 他の作型、品目への応用を試みる

2-3 作型の異なる野菜での指針作成事例（鹿児島県）

（晩夏まきおよび初秋まきキャベツを対象にして）

【目的】

野菜作において、可給態窒素レベルに応じた適正窒素施肥量を決定するには、栽培期間に発現する窒素量を予測する必要があります。

しかし、この予測には多くの研究データが必要になります。そこで、過去の研究データから予測に必要な結果を集めて推定できる可給態窒素発現量の予測表計算シート（通称「パックちゃん」）を作成しました（詳しくは5章を参照）。ここでは、同一圃場において栽培期間の地温が異なるキャベツ栽培で、その有効性を検討しました。

【試験方法】

キャベツ（金系 201 号 Ex）を供試して、同一圃場内に可給態窒素の異なる試験区を作成し、作型（晩夏まき・初秋まき）の違いが生育、収量に及ぼす影響について検討しました（表 2-3-1）。

表2-3-1 作型および可給態窒素レベルの異なる圃場における栽培試験の概要

作型	可給態窒素	試験区名	窒素施肥量(kg/10a)		
晩夏まき	高 (5 mg/100g)	標準施肥	15.0	1) 供試土壌 腐植質普通黒ボク土 2) 供試品種 キャベツ(金系201号EX) 3) 栽植様式 畝幅65cm×株間40cm 4) リン酸・カリは標準施肥 5) 「パックちゃん」による換算では (晩夏まき) 可給態窒素1mg/100g→施肥窒素2.1kg/10a (初秋まき) 可給態窒素1mg/100g→施肥窒素0.8kg/10a	
		診断施肥	10.8		28%減
	低 (2 mg/100g)	標準施肥	15.0		14%増
		診断施肥	17.1		
初秋まき	高 (5 mg/100g)	標準施肥	15.0	1) 供試土壌 腐植質普通黒ボク土 2) 供試品種 キャベツ(金系201号EX) 3) 栽植様式 畝幅65cm×株間40cm 4) リン酸・カリは標準施肥 5) 「パックちゃん」による換算では (晩夏まき) 可給態窒素1mg/100g→施肥窒素2.1kg/10a (初秋まき) 可給態窒素1mg/100g→施肥窒素0.8kg/10a	
		診断施肥	13.6		9%減
	低 (2 mg/100g)	標準施肥	15.0		5%増
		診断施肥	15.8		

【結果】

土壌の可給態窒素レベルが高い場合は窒素減肥，低い場合は増肥することで、収量が平準化されました。晩夏まきでは、台風等の影響で全体的に低収量でしたが、可給態窒素が高い区では窒素施肥量を 28%削減しても同程度の収量が確保でき、低い区では窒素施肥量を増やすことで 20%増収しました。初秋まきでも可給態窒素レベルに応じて窒素施肥量を加減することで、診断施肥区では適切な階級の結球が得られ、「パックちゃん」の有効性が確認できました（図 2-3-1）。

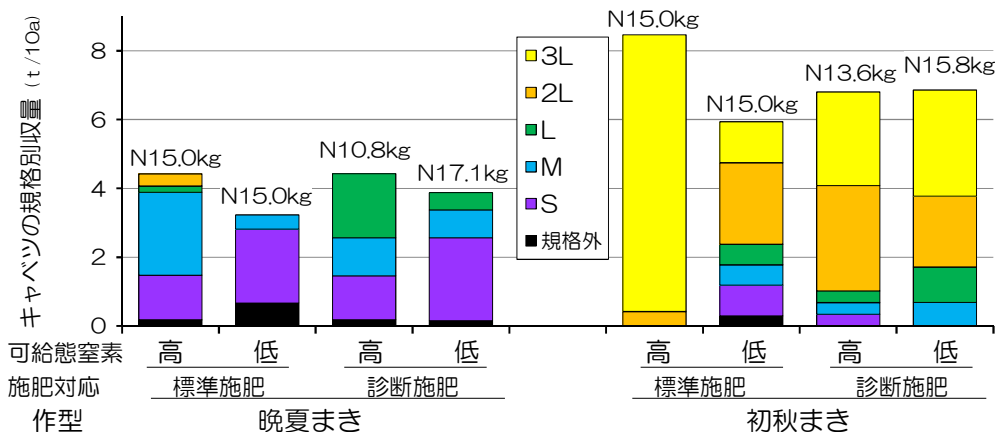


図2-3-1 可給態窒素診断による作型の異なるキャベツの規格別収量
注) 階級別単価はL~2Lが高く、3L級はこれらの半値以下になる場合がある

【施肥指針の作成】

窒素発現量のシミュレーションで旬ごとの窒素発現量を予測し(図 2-3-2), 栽培試験での検証を経て, キャベツの作型ごとに窒素施肥指針を整理しました(表 2-3-2)。例えば, 晩夏まき作型の場合, 図 2-3-2 において, 定植期の10月上旬から収穫最盛期の1月下旬の窒素肥料換算量の値を足し合わせると, 合計2.1kg/10aになります。この合計値が, 可給態窒素1mg/100gに相当する窒素施肥量になります。可給態窒素が5mg/100g(可給態窒素の標準値3mg/100gよりも2mg/100g高い)の場合には, 窒素の標準施肥量から4.2kg/10a減肥します。

栽培期間の地温によって, 可給態窒素の窒素肥料としての換算量が変化します(表 2-3-2)。

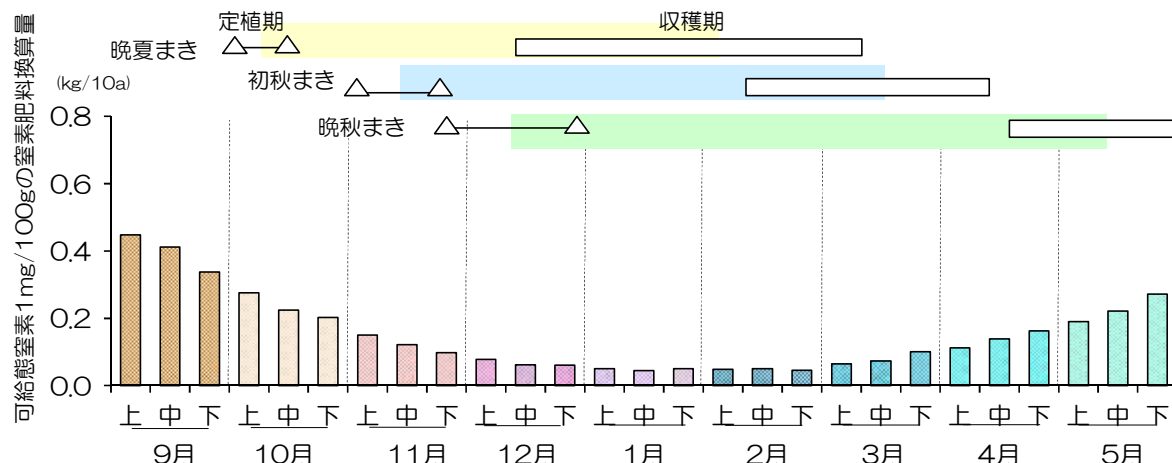


図2-3-2 鹿児島県の地温条件におけるキャベツの作型と可給態窒素1mg/100gの旬毎の窒素肥料換算量

- 1) 可給態窒素1mg/100gからの窒素発現量が, 窒素肥料でどれだけの量(kg/10a)に換算できるかを推定したもの。地温は鹿児島市の平年値
- 2) 土壌条件は黒ボク土(仮比重0.7)。換算する土壌の深さは30cm。窒素利用率は, 可給態窒素と窒素肥料ともに50%

表2-3-2 可給態窒素レベル(mg/100g)と施肥窒素の増減量(kg/10a)

作 型	換算量 ^{注1)} (kg/10a)	可給態窒素(mg/100g)と窒素増減量(kg/10a) ^{注2)}				
		1	2	3(標準)	4	5
晩夏まき	2.1	+4.2	+2.1	±0	-2.1	-4.2
初秋まき	0.8	+1.6	+0.8	±0	-0.8	-1.6
晩秋まき	1.4	+2.8	+1.4	±0	-1.4	-2.8

- 注1) 換算量とは可給態窒素1mg/100gが, 施肥窒素で何kg/10aに相当するかを求めたもの
- 注2) 可給態窒素3mg/100gを標準として, 高い場合は減肥, 低い場合は増肥となる

ここで, 可給態窒素の標準値(減肥と増肥の境界値)の3mg/100gは, 露地畑における可給態窒素の分布調査によって決定しました(図 2-3-3)。

野菜の目標収量を得るための窒素施肥基準が, 地力中庸の畑を対象に作成されている前提で, 可給態窒素3mg/100gを施肥基準量として, それ以下では窒素の増肥, それ以上では減肥としました。

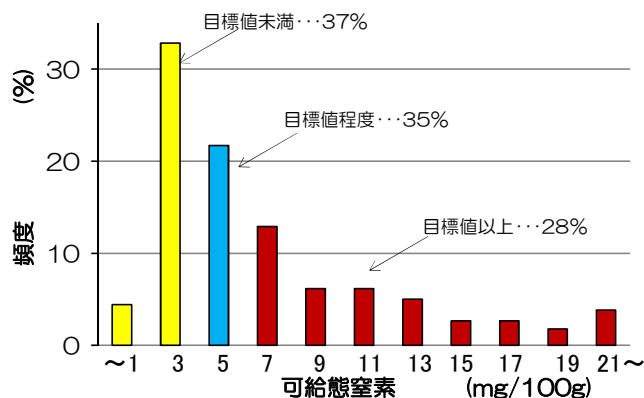


図2-3-3 鹿児島県露地畑における可給態窒素の分布

- 注) 露地畑の可給態窒素の分布 (n=341) 平均は3mg/100g 地力増進基本指針における目標値は5mg/100g

2-4 施設野菜における指針作成事例（岩手県）

（施設夏秋トマトを対象にして）

【目的】

栽培期間が長く、栄養生長と生殖生長が同時進行する施設夏秋トマトにおいて、可給態窒素レベルに応じた施肥指針を作成するためには、栽培期間を通じて可給態窒素がトマトの地上部の窒素吸収量や果実収量等に与える影響を把握する必要があります。

そこで、可給態窒素がトマトの地上部の窒素吸収量に与える影響を定量的に評価するとともに、この評価結果に基づく窒素減肥の可能性について検討しました。

【試験方法】

同一圃場内（腐植質普通非アロフェン質黒ボク土）に可給態窒素の異なる試験区を作成し、桃太郎サニー、りんか409を供試品種としてトマトの無窒素栽培を行い、各試験区間の可給態窒素量の差とトマトの地上部窒素吸収量との関係から、可給態窒素がトマトの地上部窒素吸収量に与える影響を定量的に評価しました。また、得られた結果を基に、可給態窒素レベルに応じた窒素減肥を行い、窒素減肥がトマトの生育・収量に与える影響を調査するとともに、可給態窒素レベルに応じた窒素減肥量の妥当性を検討しました。

【結果】

可給態窒素が異なる試験区においてトマトの無窒素栽培を行った結果、可給態窒素が多い試験区ほど、トマトの地上部乾物重は増加し、果実収量も増加することが確認されました（図2-4-1）。また、可給態窒素量と地上部窒素吸収量との関係から、可給態窒素1mg/100gにつきトマトの地上部窒素吸収量が10a当たり2~3kg程度増加することが確認されました（表2-4-1）。

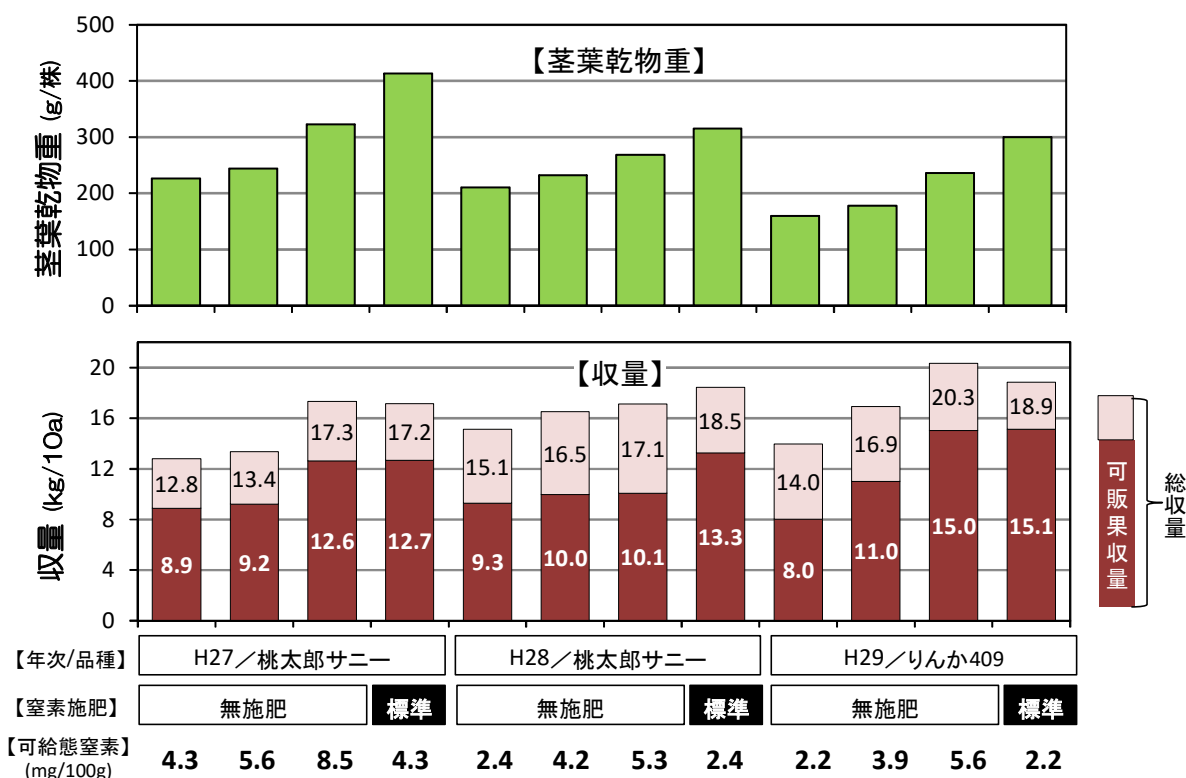


図2-4-1 可給態窒素レベルの違いと茎葉乾物重・収量の関係

表2-4-1 可給態窒素と窒素吸収量の関係

年度/品種	可給態窒素 (mg/100g)	地上部 窒素吸収量 (kg/10a)	各試験区の差		B/A 可給態窒素 1mg/100g当たりの 窒素吸収量(kg/10a)
			A 可給態窒素 (mg/100g)	B 地上部窒素吸収量 (kg/10a)	
H27	4.3 ①	17.6 ⑩	4.2 (③-①)	12.1 (⑫-⑩)	2.9
桃太郎サニー (台木Bバリア)	5.6 ② 8.5 ③	19.8 ⑪ 29.7 ⑫	2.9 (③-②) 1.3 (②-①)	9.9 (⑫-⑪) 2.2 (⑪-⑩)	3.4 1.7
H28	2.4 ④	22.5 ⑬	2.9 (⑥-④)	6.0 (⑮-⑬)	2.1
桃太郎サニー (台木Bバリア)	4.2 ⑤ 5.3 ⑥	25.7 ⑭ 28.5 ⑮	1.1 (⑥-⑤) 1.8 (⑤-④)	2.8 (⑮-⑭) 3.2 (⑭-⑬)	2.5 1.8
H29	2.2 ⑦	15.9 ⑯	3.4 (⑨-⑦)	10.2 (⑰-⑯)	3.0
りんか409 (台木Bバリア)	3.9 ⑧ 5.6 ⑨	19.5 ⑰ 26.1 ⑱	1.7 (⑨-⑧) 1.7 (⑧-⑦)	6.6 (⑱-⑰) 3.6 (⑱-⑯)	3.9 2.1

これらの結果を基に、可給態窒素量 2.4mg/100g の試験区を基準区として、可給態窒素が基準区より 2mg/100g および 3mg/100g 多い試験区において、それぞれ 10a 当たり 6kg および 9kg の窒素減肥を行った結果、減肥した試験区においても基準区と同等の可販果収量が得られました (図 2-4-2)。

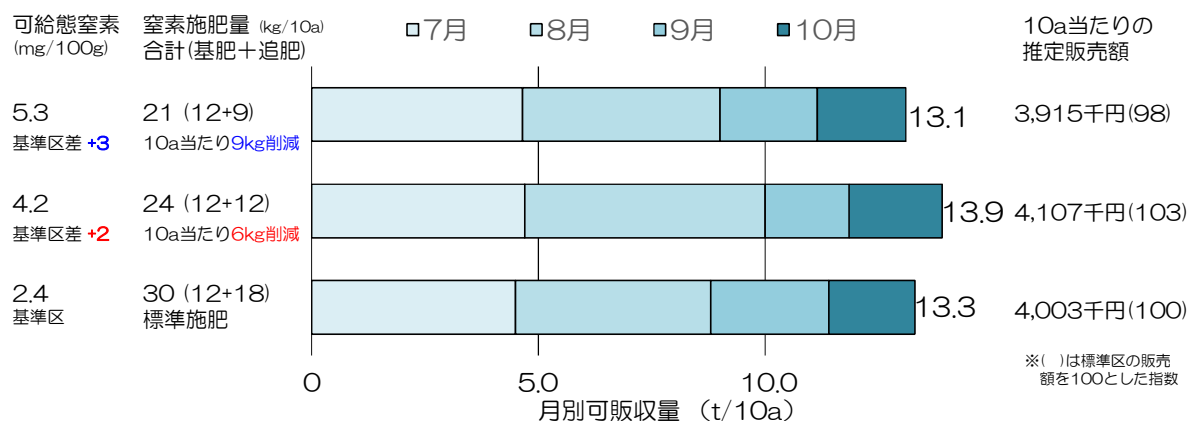


図2-4-2 可給態窒素レベルに応じた窒素減肥と可販収量の関係

【施肥指針の作成】

このことから、可給態窒素2mg/100g をベースとして、可給態窒素が 1mg/100g 増加するごとに、窒素施肥量 (追肥量) を 10a 当たり 3kg 減肥できると判断し、可給態窒素レベルに応じた窒素施肥のめやすを表 2-4-2 に示すとおり整理しました。

しかし、果菜類では、窒素不足による樹勢の低下がその後の生育・収量に大きく影響を及ぼすため、生産者への指導においては、安全性を考慮して「可給態窒素4mg/100g 以上の場合に、窒素施肥量 (追肥量) を 10a 当たり 3~6kg 減肥可能」としました。

表2-4-2 土壌の可給態窒素レベルに応じた施設夏秋トマトの窒素施肥のめやす ※

可給態窒素 (mg/100g)	基肥窒素量 (kg/10a)	追肥窒素量 (kg/10a)
2 ~ 3	標準	18kg
3 ~ 4	(12kg)	15~18kg
4 ~		12~15kg

※樹勢を観察しながら調整する必要がある

2-5 高冷地・マルチ栽培での指針作成事例（長野県）

(夏秋どりはくさいを対象にして)

【目的】

夏秋どりはくさいについて土壌の可給態窒素量に応じた適正な窒素施肥量を明らかにし、可給態窒素簡易分析法を利用した窒素施肥指針を作成しました。

土壌からの窒素発現量は、地温や栽培期間によって異なるため、簡単に予測できません。そこで、可給態窒素発現量の予測表計算シート「パックちゃん」（詳細は5章を参照）について、標高700～1300mの黒ボク土地帯における露地はくさい（夏秋作）栽培への適応性を検討しました。

【試験方法】

はくさいを供試作物として、長野県野菜花き試験場内圃場に堆肥施肥量を変えることで可給態窒素量の異なる試験区を設置し、施肥窒素の減肥・増肥基準値を可給態窒素量 3mg/100g 乾土に設定して、栽培時期（初夏どり、秋どり）の違いが生育と収量に及ぼす影響について検討しました（表2-5-1）。

可給態窒素量に応じた減肥率は「パックちゃん」により求め、診断施肥としました。

表2-5-1 試験の作型及び試験区の内容

作型	可給態窒素 の水準	試験区	窒素施肥量 (kg/10a)	増減	※耕種概要
初夏どり	高	標準施肥	20.0	—	初夏どり：品種：「ムーンビーチ」 定植 4/2, 収穫 5/30 秋どり：品種：「黄稔」 定植 8/17, 収穫 10/9 栽植密度： 畝幅 45cm×株間 50cm (4,444 株/10a) 供試土壌：淡色黒ボク土 リン酸、カリは減肥せずに慣行量 (いずれも 20kg/10a) を施用
	6mg/100g ¹⁾	診断施肥	18.0	N10%減	
	低	標準施肥	20.0	—	
	2mg/100g ¹⁾	診断施肥 ²⁾	22.0	N10%増	
秋どり	高	標準施肥	20.0	—	
	5mg/100g ¹⁾	診断施肥	16.0	N20%減	
	低	標準施肥	20.0	—	
	2mg/100g ¹⁾	診断施肥	22.0	N10%増	

注1) 施肥前に採取した土壌の80℃16時間水抽出法による測定値

2) パックちゃんを使わず慣行施肥比10%増とした

【結果】

初夏どり作型においては、可給態窒素水準が高い条件では、診断施肥区（窒素 10%減肥）と標準施肥区の間で収量に有意差が認められず、L以上の等級比率も概ね同等でした。一方、可給態窒素水準が低い条件では、診断施肥による増肥量（窒素 3%）では収量がやや少なく、10%程度の増肥（診断施肥2）が必要でした（図2-5-1）。

秋どり作型では、可給態窒素水準が高い圃場、低い圃場ともに各試験区間で収量に有意な差は認められず、L以上の等級比率も概ね同等でした（図2-5-1）。

初夏どり及び秋どりはくさいについて、「パックちゃん」の有効性が確認できました。なお、可給態窒素が 2mg/100g の土壌での初夏どり作型については、栽培試験の結果から、「パックちゃん」診断よりもやや多めの 10%増肥が適当と考えられました。

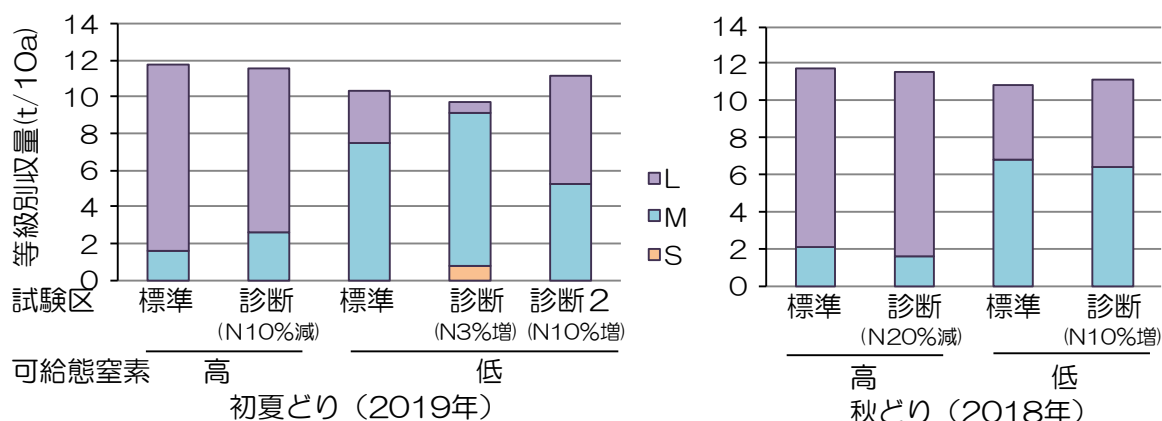


図 2-5-1 可給態窒素レベルに応じた施肥がはくさいの収量に及ぼす影響

【施肥指針の作成】

長野県内のはくさいにおいて求められる規格はLサイズであり、結球重では 2,500~3,000g に相当します。窒素吸収量と結球重の関係から L サイズの結球重を得るためには 10a 当たり 26.0~38.1kg の窒素を吸収する必要があります (図 2-5-2)。よって、本試験では標準的な窒素施肥量を標高 700~900mでは 10a 当たり 20kg, 標高 900m以上の夏どりでは 25kg, 秋どりでは 20~25kg として施肥指針を作成しました。

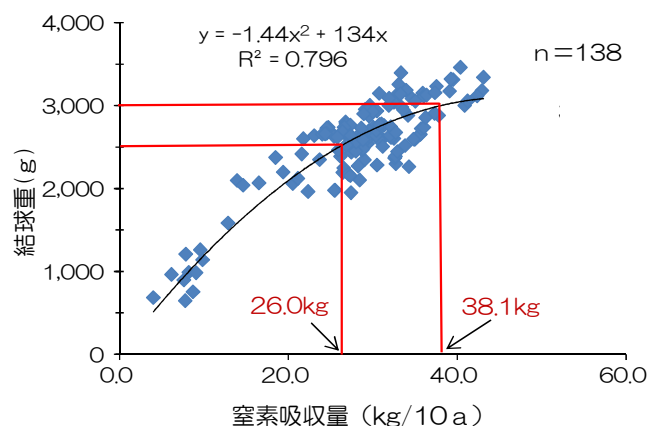


図 2-5-2 はくさいの窒素吸収量と結球重の関係

なお、これまでの試験結果から、窒素の増肥及び減肥のボーダーラインは可給態窒素で 3mg/100g としました。可給態窒素が 3mg より少ない場合は窒素増肥, 多い場合は減肥とします (表 2-5-2)。なお、「パックちゃん」での窒素利用率は, 可給態窒素が 90%, 窒素肥料が 80% としました。(降雨が少ないこと, 全面マルチであることから高めに設定しました。)

表2-5-2 可給態窒素に応じた施肥窒素量の増減量の目安

標高	作型 ¹⁾	標準施肥量 (kg/10a)	換算量 ²⁾ (kg/10a)	可給態窒素 (mg/100g) と施肥窒素増減量 (kg/10a)						
				1	2	3	4	5	6	7
900m以上	夏どり	25	0.7	+3.8	+2.5	0	-0.7	-1.4	-2.1	-2.8
	秋どり 10月上旬	20	1.1	+3.0	+2.0	0	-1.1	-2.2	-3.3	-4.4
	秋どり 10月中旬	25	0.9	+3.8	+2.5	0	-0.9	-1.8	-2.7	-3.6
700m~900m	初夏どり	20	0.7	+3.0	+2.0	0	-0.7	-1.4	-2.1	-2.8
	夏どり	20	1.2	+3.0	+2.0	0	-1.2	-2.4	-3.6	-4.8
	秋どり	20	2.3	+4.6	+2.3	0	-2.3	-4.6	-6.9	-9.2

注1) 初夏どりは6月上旬, 夏どりは7月上旬, 秋どりは10月中旬収穫の作型を示す

2) 換算量とは可給態窒素 1mg/100g の施肥窒素相当量 (kg/10a) を示す

3) 黄色の帯部分は「パックちゃん」の診断結果でなく, 試験結果に基づいて設定

(可給態窒素 1mg/100g のときは標準窒素施肥量の 15% 増, 2mg/100g のときは 10% 増としている)

4) なお, 施肥窒素増減量は施肥時期と収穫時期で変わるため, 「パックちゃん」に当てはめて計算する

2-6 現地実態調査に基づく指針作成事例（愛知県）

（秋冬キャベツ・スイートコーンを対象にして）

【目的】

堆肥連用畑での秋冬キャベツおよびスイートコーン栽培において、可給態窒素の簡易測定法を活用するとともに、堆肥の肥料成分を考慮した窒素施肥指針を作成しました。

【試験方法】

窒素施肥指針を作るために、試験場内の堆肥および肥料施用試験区や現地生産圃場の結果を用いて、①栽培期間中の土壌窒素無機化量、②簡易測定法による可給態窒素から土壌窒素無機化量への換算係数、③目標収量を得るための作物体窒素吸収量、④土壌、堆肥、施肥由来別窒素利用率をそれぞれ計算します。

【結果】

（1）栽培期間中の土壌窒素無機化量

栽培前に採取した作土を畑条件（最大容水量の40%）で異なる温度（10℃、20℃、30℃）により16週間培養し、土壌窒素無機化量の推移を測定します。この測定結果を反応速度論に基づいて解析し、単純並行型モデル（4章3-3参照）に当てはめて窒素無機化量推定式を作成した後、実際の地温（深さ10cm）を用いて栽培期間中の土壌窒素無機化量を計算します。

（2）可給態窒素から土壌窒素無機化量への換算係数

（1）で計算した土壌窒素無機化量と、簡易法により測定した可給態窒素量との関係から換算係数を計算します。キャベツとスイートコーンで計算した結果では、それぞれ1.43、1.20（グラフの傾き）となりました（図2-6-1）。

（3）目標収量を得るための作物体窒素吸収量

ほ場ごとの収量と作物体窒素吸収量との関係から、目標収量を得るための作物体窒素吸収量を計算します。キャベツとスイートコーンの場合、目標収量（キャベツ：5.5t/10a、スイートコーン：1.6t/10a）における窒素吸収量は、キャベツで21.5kgN/10a、スイートコーンで12.6kgN/10aとなりました（図2-6-2、スイートコーンのグラフは省略）。

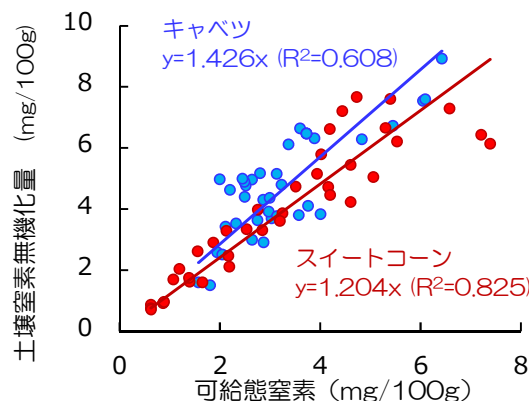


図 2-6-1 可給態窒素（簡易法）と栽培期間中の土壌窒素無機化量との関係

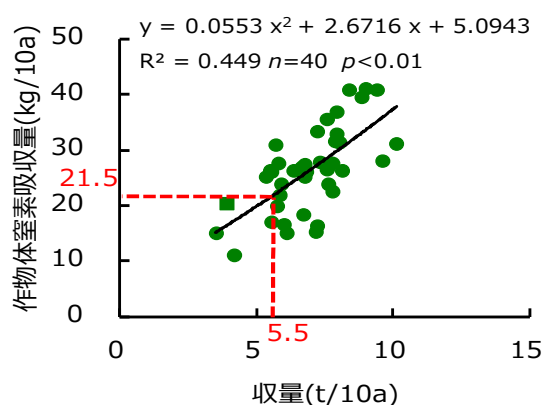


図 2-6-2 収量と作物体窒素吸収量との関係（キャベツ）

(4) 土壌、施肥、堆肥由来窒素利用率の算出

ほ場ごとの作物体窒素吸収量を目的変数、作土からの窒素供給量、窒素施肥量、牛ふん堆肥あるいは豚ふん堆肥に由来する窒素量を説明変数とし、重回帰分析から説明変数ごとの係数を計算し、由来別の窒素利用率とします。作土からの窒素供給量は(1)の土壌窒素無機化量に、別途測定した作付前の無機態窒素量を加えた値に作土深と仮比重を乗じ、面積当たりに換算します。表2-6-1 にキャベツおよびスイートコーンでの結果を示します。

表2-6-1 重回帰分析による由来別窒素利用率

作物	窒素利用率 (%)			
	土壌	施肥	牛ふん堆肥	豚ふん堆肥
キャベツ	71.6	64.3	5.6	13.9
スイートコーン	87.2	33.4	—	—

注) スイートコーンでは堆肥の施用試験を行っていないため窒素利用率は計算していない

【施肥指針の作成】

(2)~(4)の数値を用い、目標収量に必要な作物体窒素吸収量を得るための施肥量を、可給態窒素別に計算します(表2-6-2)。愛知県のキャベツ、スイートコーン主産地には、礫含量が50%を超える未熟低地土があるため、作土深は20cmとし、仮比重の異なる2種類の土壌(礫質土壌とそれ以外の土壌)で指針を作成しています。

可給態窒素1mg/100gの増減に相当する窒素施肥量は、礫質土以外のキャベツの場合には、 $1(\text{mg}/100\text{g}) \times 20(\text{cm}) \div 10(\text{cm}) \times 1(\text{仮比重}) \times 1.43 \times 0.716(\text{土壌窒素利用率}) \div 0.643(\text{施肥窒素利用率}) = 3.18(\text{kg}/10\text{a})$ となります。一方、礫質土では1.59kg/10a(kg/10a)となります。

また、スイートコーンでは礫質土以外で6.27(kg/10a)、礫質土で3.13(kg/10a)となります。

県施肥基準の窒素施肥量は、可給態窒素2mg/100gに該当します。指針では、この値を基準にして可給態窒素1mg/100gの増減に相当する窒素施肥量を減肥または増肥させています。

さらに、家畜ふん堆肥(牛ふん堆肥、豚ふん堆肥)を施用する場合には、施用する堆肥窒素量に表2-6-1の堆肥窒素利用率を乗じ、施肥窒素利用率で除した量を減肥します。

表2-6-2 簡易測定法による可給態窒素に基づいた窒素施肥指針

可給態窒素の判定に用いるバックテストの色見本	可給態窒素 (mgN/100g)	窒素施肥量 (kgN/10a)				備考
		礫質土以外		礫質土		
		スイートコーン	キャベツ	スイートコーン	キャベツ	
 (中間色)	1	31	33	34	35	堆肥等を施用して地力を高めましょう
	2	25	30	31	33	標準施肥
	3	19	27	28	32	地力が高いためので減肥しましょう
	4	12	24	25	30	

目標収量 (t/10a) : スイートコーン 1.6、キャベツ 5.5 作土深 : 20cm、 仮比重 : 礫質土以外 1.0、 礫質土 0.5

県施肥基準(礫質土以外)(kgN/10a) : スイートコーン25、キャベツ30

さらに、堆肥施用する場合には、堆肥窒素量に係数を乗じた量を減肥します(係数/牛ふん堆肥 0.08、豚ふん堆肥 0.16)

可給態窒素の判定に用いるバックテストの色見本は6章-2を参照

2-7 可給態および無機態窒素を考慮した指針作成事例（茨城県）

（春どりレタスを対象にして）

【目的】

レタス栽培では窒素量の過不足が品質低下の発生を助長することがあるため、良品を生産するためには土壤中の利用できる窒素量（地力）をもとに、適切な施肥量を決定することが重要です。そこで、可給態窒素（可給N）および残肥等に由来する硝酸態窒素（硝酸N）の簡易分析に基づいて適切な施肥量を算出する施肥技術の開発に取り組みました。

【試験方法】

堆肥や化学肥料の施用により可給Nおよび硝酸Nの異なる試験区を同一圃場内に設置し、収穫時期ごとに異なる窒素施肥量（施肥N）でレタスを栽培しました。形態別の窒素量とレタスの窒素吸収量の関係の強さ（決定係数）から、地力として考慮する窒素の形態を検証するとともに、目標等階級の発生割合から適切な窒素供給量を算出しました（表2-7-1）。

表2-7-1 試験区の構成および耕種概要

栽培年 および作型	作型	定植日	収穫日	形態別窒素量 (kg/10a) [*]			
				可給N	硝酸N	可給N+硝酸N	施肥N
H28 4月どり	トンネル・ダークグリーンマルチ被覆	1月13日	4月4日	2.0~4.6	0.9~1.8	3.4~6.2	0, 10, 15, 17, 20
H29 5月どり	ダークグリーンマルチ被覆	3月23日	5月16日	2.0~5.5	0.5~2.1	2.5~7.5	0, 4, 6, 8, 10, 15, 20
H30 5月どり	チ被覆	3月26日	5月14日	1.7~2.7	0.2~3.7	1.9~5.6	0, 7.5, 10, 12.5, 15

^{*}可給態Nおよび硝酸態Nは土壌の仮比重0.66、作土深15cmと仮定し、測定値(mgN/100g)をそのまま面積当たりの窒素供給量(kg/10a)として読み替えた。リン酸、カリは施肥標準量をそれぞれ施肥した

【結果】

4月どりでは、施肥Nの寄与率が高く、可給Nの生育への寄与は判然としませんでした。これは栽培期間が厳寒期にあたり、窒素の無機化量が少ないためと考えられました。

一方、5月どりでは硝酸Nおよび可給Nを考慮することで決定係数が高まり、これら両方を考慮することで、より高い精度でレタスの生育量を調整できると考えられました（表2-7-2）。

調整重との関係から産地の目標階級であるL、2L規格を収穫するために適正な窒素供給量を算出したところ、合量で「15kg/10a」程度が5月どりにおける適正窒素量と考えられました（図2-7-1）。

表2-7-2 形態別供給窒素量と窒素吸収量の関係

栽培年および 作型	決定係数(R ²)			
	形態別窒素の組み合わせ			
	施肥N	施肥N+ 可給N	施肥N+ 硝酸N	施肥N+可給N +硝酸N
H28 4月どり	0.92	0.90	0.91	0.90
H29 5月どり	0.86	0.89	0.88	0.89
H30 5月どり	0.74	0.75	0.78	0.79

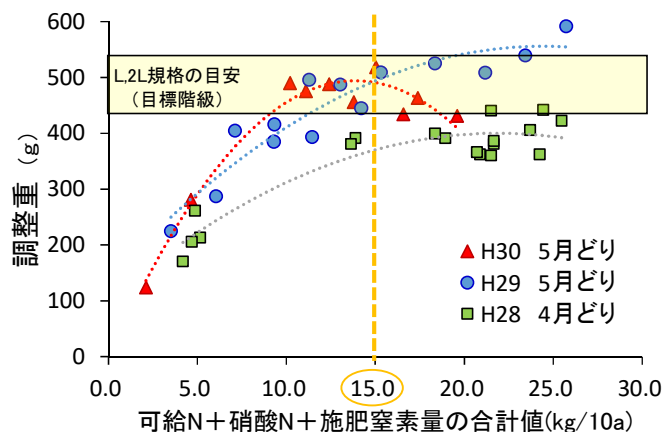


図2-7-1 形態別供給窒素量とレタス調整重の関係

【施肥指針の作成】

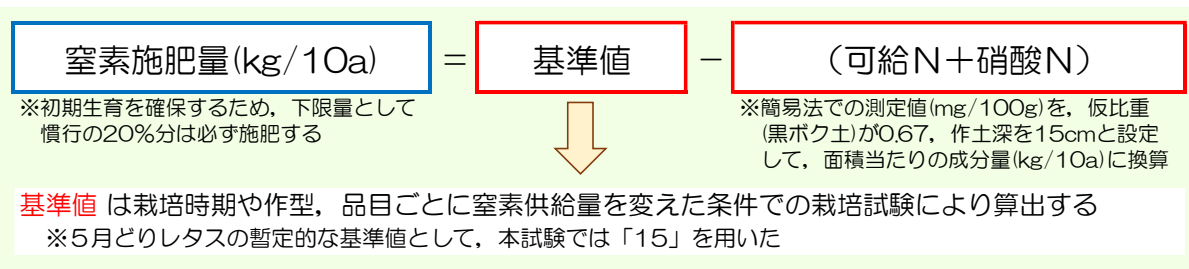


図 2-7-2 地力を考慮した適正な窒素施肥量を算出するための計算式

可給 N および硝酸 N とともに生育への寄与が認められたことから、適正な窒素施肥量を算出するための簡易な計算式を作成しました(図 2-7-2)。また、窒素供給量を変えた条件での試験結果から、5月どりレタスにおける基準値を暫定的に「15」と設定し、この基準値の妥当性を検証するための栽培試験を実施しました(表 2-7-3)。

表 2-7-3 栽培試験の耕種概要

地点名	試験区	品種	播種日	定植日	調査日	可給N	硝酸N	合計N	施肥 基準値	窒素施肥量
						(mg/100g)	(mg/100g)	(kg/10a)		(kg/10a)
5月どり 現地圃場 (結城市)	標準区								-	10.0
	診断15kg区	オーウェン	2/24	3/29	5/20	3.1	2.6	5.7	15.0	9.3
	診断14kg区								14.0	8.3
	診断12kg区								12.0	6.3
	無窒素区								-	0
5月どり 所内圃場 (笠間市)	標準区								-	10.0
	診断15kg区	ゴジラ	2/25	3/25	5/20	2.2	6.4	8.6	15.0	6.4
	診断14kg区								14.0	5.4
	診断12kg区								12.0	3.4
	無窒素区								-	0

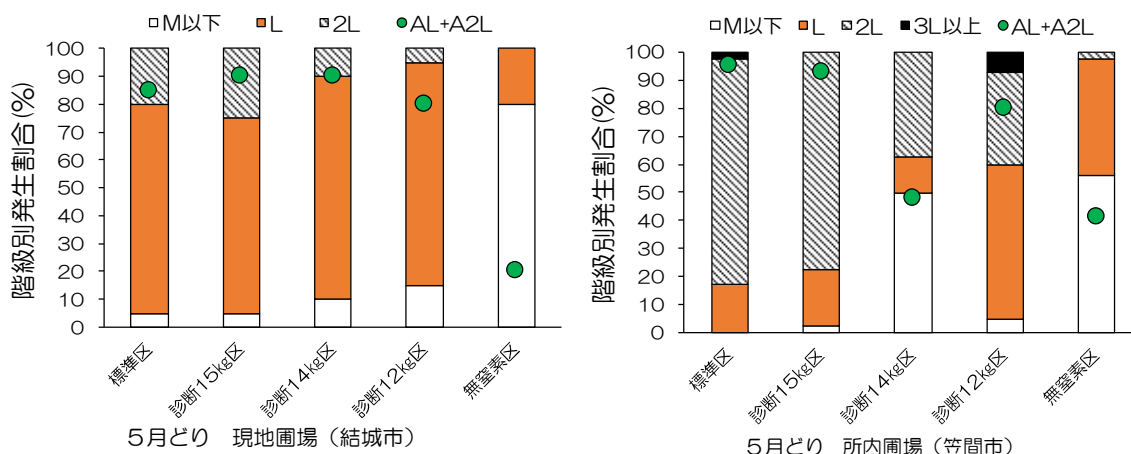


図 2-7-3 作成した計算式に基づく実証試験の結果

診断 15 kg区(窒素施肥基準を 15kg/10aとして可給N+硝酸Nの値を差し引いて窒素施肥量とした区)では、目標階級である AL+A2L 規格の発生割合が標準区と同程度となり、減肥をしつつ目標階級を得ることができましたが、それ以下の窒素施肥量の場合、生育が劣ったことから、窒素施肥量を算出する基準値は 15 が妥当と考えられました(図 2-7-3)。

3章 現地実証の事例紹介 (可給態窒素だけでなくリン酸 カリを含めた実証)

3-1 現地実証の概要

2章で作成した可給態窒素レベルに応じた窒素施肥指針の有効性を検証するために、現地実証を行いました。現地実証は窒素だけでなく、各地域で提案している、リン酸、カリの減肥基準も取り入れて総合的な適正施肥実証としました。以下にその概要を紹介します。

特に、普及指導現場において、現地実証を通じた窒素施肥指針の作成に活用してください。

3-2 加工・業務用キャベツでの現地実証(鹿児島県)



【 実証概要 】

- ・加工・業務用キャベツ 67 筆の畑を栽培する農業法人で現地実証
- ・全ての圃場の可給態窒素を簡易診断し、可給態窒素の高い圃場では窒素を減肥，低い圃場では窒素を増肥する実証区を設定
- ・リン酸，カリの施肥は県で設定した基準を適用
- ・収量や収益性を農家慣行区と比較

3-3 施設夏秋トマトでの現地実証(岩手県)



【 実証概要 】

- ・場内試験結果（2-4 参照）を基に試験区を設定
- ・リン酸，カリは岩手県で作成した「補給型施肥基準」にしたがって減肥
- ・標準施肥区と減肥区について，収量，収益性を比較

3-4 夏秋どりはくさいでの現地実証(長野県)



【 実証概要 】

- ・はくさい産地において可給態窒素の実態調査を実施
- ・県内の栽培状況にあわせて，初夏どり，夏どり，秋どりの作型で検討
- ・可給態窒素診断だけの診断区と，リン酸・カリも考慮した総合区を設定
- ・収量性や収益性を現地慣行区と比較

3-5 秋冬キャベツでの現地実証(愛知県)



【 実証概要 】

- 目標収量を設定し、必要な窒素吸収量から窒素施肥量を算出して現地実証
- 家畜ふん堆肥に含まれる窒素、リン酸、カリを肥料代替として化学肥料を減肥
- 現地慣行区と診断区による、収量、養分吸収量、収益性を比較

3-6 秋どりレタスでの現地実証(茨城県)



【 実証概要 】

- 県内レタス2産地において、10月どり、11月どり現地実証
- 窒素施肥量は、診断区(2-7参照)および推定区(5章参照)を設定
- リン酸、カリは県で作成した技術支援マニュアルに準じて減肥
- それぞれの地域、作型で設定した診断区と推定区について、収量、収益性を現地慣行区と比較

表3-1 現地実証試験における収益性一覧表

地域	試験区名	肥料費 (慣行比)	販売額 (慣行比)	収益 (慣行比)
3-2 (鹿児島)	高可給態窒素圃場	50%	103%	104%
	低可給態窒素圃場	236%	114%	111%
3-3 (岩手)	N6kg減肥区	90%	108%	108%
	N3kg減肥区	95%	93%	93%
3-4 (長野)	可N7.1mg-総合改善区	26%	L級以上慣行・改善とも100% L級以上35%→65%に向上	
	可N2.2mg-総合改善区	38%		
3-5 (愛知)	診断区	86%	103%	104%
3-6 (茨城)	N市10月どり診断区	33%	100%	101%
	B市10月どり診断区	17%	110%	112%
	N市11月どり診断区	34%	111%	114%
	B市11月どり診断区	28%	109%	112%

※肥料費は慣行比100%以下、販売額および収益は100%以上で収益性が向上

3-2 加工・業務用キャベツでの現地実証（鹿児島県）

【背景・ねらい】

これまで窒素施肥は、土壌診断によらず施肥基準量を一律に施肥したり、栽培指針や過去の生育を参考にして施肥量を調節していました。

一方、鹿児島県の露地野菜生産を支えている農業法人は9割以上が借地であるため、土壌肥沃度や、有機物施用履歴等を十分に把握できない圃場で栽培を行うことが多いのが現状です。そこで、これまでの土壌診断項目に可給態窒素を加えて窒素肥沃度を把握することで、生産性の向上や肥料費の削減につながるかを検討しました。

【現地実証の概要】

現地実証は加工・業務用キャベツを67筆・13ha程度栽培する農業法人で実施しました。栽培圃場の可給態窒素は平均4.1mg/100gで1.9~12.6mg/100gの大きな違いがありました（図3-2-1）。土壌診断結果から、82%の圃場で窒素を、65%の圃場でリン酸を、85%の圃場でカリを減肥可能と判断できます。可給態窒素3mg/100gを標準に、高い場合は減肥、低い場合は増肥としました。

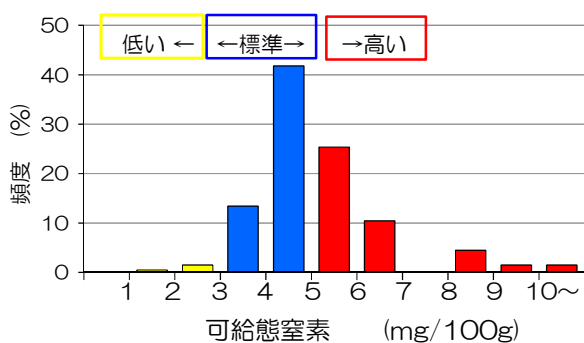


図3-2-1 実証農業法人畑の可給態窒素分布

ただし、土壌の可給態リン酸および交換性カリ含量の平均値は、土壌診断基準値と比べて高い傾向にあるものの、診断基準値以下の圃場もありました（図3-2-2右）。また、可給態窒素と可給態リン酸および交換性カリそれぞれの関係性はそれほど高くなく、三要素の配合割合が定められた種類の配合肥料だけで調整することは難しいということがわかりました（図3-2-2左）。

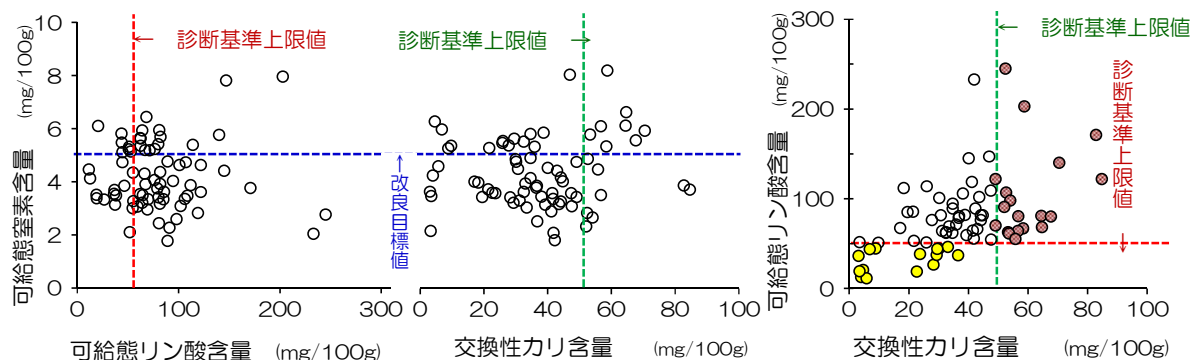


図3-2-2 土壌の可給態窒素，可給態リン酸，交換性カリの関係

注) 農業法人が栽培する野菜畑の土壌診断結果(n=75)による
 全体の28%の圃場(●)は、リン酸、カリの両方とも診断基準値を超過している
 一方で、リン酸、カリともに施肥が必要な圃場(●)もある(右図)

【鹿児島県における畑作のリン酸およびカリの減肥基準】

鹿児島県では畑作物に対するリン酸およびカリの減肥基準を設定しています（表 3-2-1）。野菜畑は黒ボク土畑が多く、リン酸が不足している圃場もありますが、基準値以上の圃場も半数を占めます。また、カリは堆肥施用等によって異なります。これらの基準を参考に、現地実証を実施しました。

表3-2-1 鹿児島県の露地野菜に対するリン酸およびカリの減肥基準

可給態リン酸含量(mg/100g)	～10	10～30	30～50	50～
リン酸施肥基準量 注1,2)	100% 注3)	100%	50%	無リン酸
交換性カリ含量(mg/100g) 注4)	～23	23～47	47～	
カリ施肥量 注5,6)	100%	50%	無カリ	

注1) 土づくりの牛ふん堆肥施用を前提とした基準
 2) 地域のリン酸施肥基準量に対する比率である
 3) リン酸質資材等を施用して、可給態リン酸を10mg/100g以上に改良したうえでの施肥
 注4) 陽イオン交換容量(CEC)が15～35meq/100g乾土の黒ボク土畑を想定した値
 5) 土づくりの牛ふん堆肥2t施用を前提とした基準
 6) 地域のカリ施肥基準量に対する比率である

【実証試験結果の概要】

可給態窒素レベルが高い圃場では、診断区の収量が慣行区比 103%で同程度でした。肥料費が削減でき、収量は微増で、10a 当たりの収益は 15 千円増加しました（表 3-2-2）。

一方、可給態窒素レベルが低い圃場では、診断区の収量が慣行区比 114%でした。肥料費は増加しましたが、増収したため、10a 当たりの収益は 22 千円の増加となりました（表 3-2-3）。

表3-2-2 可給態窒素が高い現地圃場における土壌診断結果に基づく施肥改善事例

可給態窒素 (mg/100g)	試験区	施肥量 (kg/10a)			A 肥料費 (円/10a)	結球収量 (kg/10a)	指数 (%)	B 出荷販売額 (千円/10a)	B-A (千円/10a)
		N	P ₂ O ₅	K ₂ O					
高 (7.5)	慣行	21.8	3.0	3.0	6,537	9,478	(100)	379	373
	診断	14.7	0.0	0.0	3,243	9,773	(103)	391	388

注1) 供試品目は加工業務用キャベツ「夢舞台」 9月23日定植－1月30日収穫 出荷販売額はkg単価40円での試算
 2) 可給態リン酸含量は 93mg/100g, 交換性カリ含量は 59mg/100gである

表3-2-3 可給態窒素が低い現地圃場における土壌診断結果に基づく施肥改善事例

可給態窒素 (mg/100g)	試験区	施肥量 (kg/10a)			A 肥料費 (円/10a)	結球収量 (kg/10a)	指数 (%)	B 出荷販売額 (千円/10a)	B-A (千円/10a)
		N	P ₂ O ₅	K ₂ O					
低 (1.9)	慣行	21.8	3.0	3.0	6,537	5,383	(100)	215	209
	診断	24.1	20.5	3.0	15,405	6,148	(114)	246	231

注1) 供試品目は加工業務用キャベツ「夢ごろも」 10月23日定植－3月23日収穫 出荷販売額はkg単価40円での試算
 2) 可給態リン酸含量は 17mg/100g, 交換性カリ含量は 70mg/100gである

3-3 施設夏秋トマトでの現地実証（岩手県）

【背景・ねらい】

場内試験（2章-4）において、可給態窒素2mg/100gをベースとして、可給態窒素が1mg/100g増加するごとに、窒素施肥量（追肥量）を10a当たり3kg減肥できる可能性が確認されました。

そこで、現地農家圃場においても同様の基準で窒素減肥試験を行い、目標収量が得られることを確認するとともに、窒素減肥による収益性について検討しました。

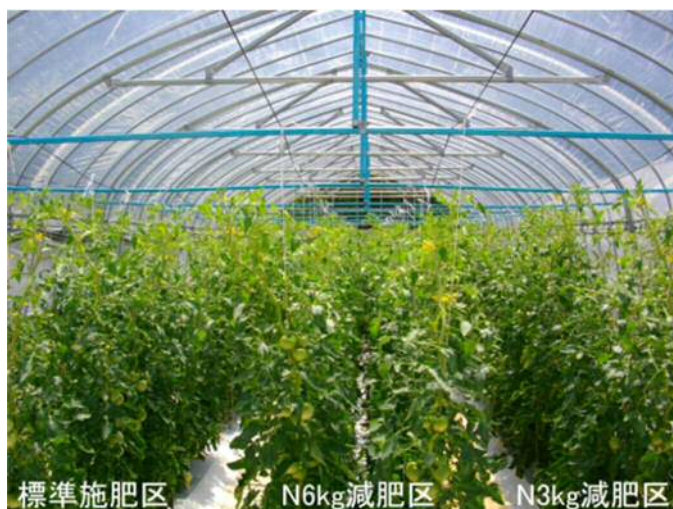


写真 現地実証の様子

【実証試験の概要】

現地試験は、ビニルハウス9棟でトマトを栽培する農家圃場（礫質台地黄色土）において実施しました。作付前の圃場の可給態窒素は4mg/100gであったことから、場内試験の成果より、最大で10a当たり6kgの窒素減肥が可能であると考えられました。そこで、現地試験では、慣行区に加え、窒素を10a当たり6kg減肥したN6kg減肥区と、窒素の減肥程度を半分に抑えた

N3kg減肥区を設定して現地実証を行いました（表3-3-1）。

なお、リン酸については、土壤診断の結果、岩手県補給型施肥基準に従い減肥可能と判断されたことから、全試験区で10a当たり10kg施用（施肥基準量より10a当たり20kg減肥）としました。

表3-3-1 現地実証試験区の構成

試験区名	施肥量 (kg/10a)					
	窒素		リン酸		カリ	
	基肥	追肥	基肥	追肥	基肥	追肥
慣行区	12	18 (1.5kg×12回)	10	0	12	18 (1.5kg×12回)
N6kg減肥区	12	12 (1.0kg×12回)	10	0	12	18 (1.5kg×12回)
N3kg減肥区	12	15 (1.25kg×12回)	10	0	12	18 (1.5kg×12回)

※可給態リン酸含量 49mg/100g

※岩手県補給型施肥基準により、リン酸は20kg/10a減肥、カリは基準量施肥

【岩手県におけるトマトへのリン酸施用基準】

岩手県においては、作物別の土壤改良目標値を設定し、この目標値に達している場合には、収穫物による肥料成分の持ち出し量と浸透水による土壤養分の溶脱量に相当する養分を施肥によって補う「補給型施肥基準」を適用することとしており、土壤中の養分含量が減肥可能なレベルに達している場合は、表3-3-2のような減肥基準に従って減肥することとしています。

表3-3-2 岩手県におけるリン酸施用基準(トマト)

	可給態リン酸(mg/100g)		リン酸施肥量 (kg/10a)
	黒ボク土	非黒ボク土	
①	~20	~20	30
②	20~100	20~50	10
③	100~	50~	0

【結果の概要】

規格外も含めたトマトの総収量は標準施肥区で最も多くなりました。しかし、減肥区では、規格外の発生が抑えられ、可販果の割合が高くなったことから、可販果の収量は N6kg 減肥区および N3kg 減肥区のいずれにおいても、慣行区と同等となりました（図 3-3-1、表 3-3-3）。

なお、慣行区、減肥区とも岩手県目標収量(10a 当たり 9 t)を確保することができました。

また、本現地実証では、窒素減肥に加え、リン酸減肥も実施していることから、窒素およびリン酸減肥について総合的に実証できました。

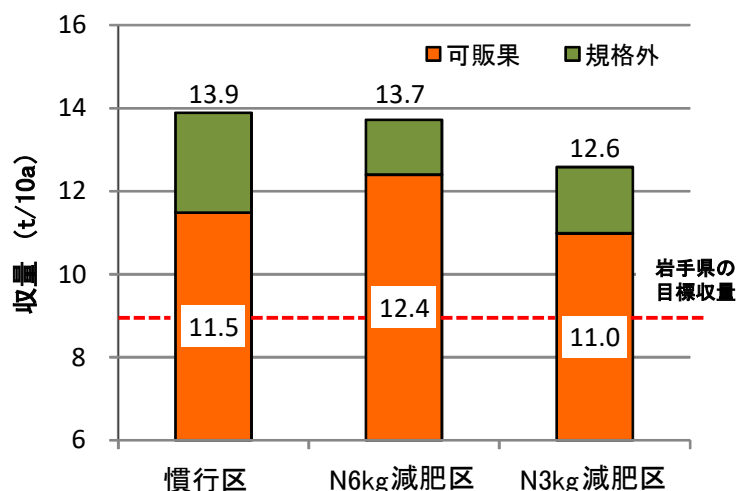


図3-3-1 窒素施肥量の違いと総収量および可販果収量

表3-3-3 各試験区における可販果収量と推定販売額

	収量 (t/10a)		推定販売額 (千円/10a)				
	総収量	可販果収量	7月	8月	9月	10月	計
慣行区	13.9 (100)	11.5 (100)	1,709	952	1,071	568	4,299 (100)
N6kg減肥区	13.7 (99)	12.4 (108)	1,646	1,565	834	603	4,648 (108)
N3kg減肥区	12.6 (91)	11.0 (96)	1,974	985	738	316	4,012 (93)

【肥料コストの削減】

窒素減肥による肥料コストの削減効果は、N6kg 減肥区において 10a 当たり 1,700 円程度でした。しかし、この現地圃場においては、岩手県補給型施肥基準に従いリン酸減肥も実施していることから、リン酸減肥なしの場合と比較すると、10a 当たり 1 万円程度の施肥コストが削減されたこととなります（表 3-3-4）。

表3-3-4 各試験区の肥料コスト

	肥料費 (円/10a)			
	窒素	リン酸	カリ	合計
慣行区	8,486	4,400	4,455	17,341
N6kg減肥区	6,789	4,400	4,455	15,644
N3kg減肥区	7,637	4,400	4,455	16,492
(参考)リン酸減肥なしの場合	8,486	13,200	4,455	26,141

3-4 夏秋どりはくさいでの現地実証（長野県）

【現地実証の概要】

現地実証は県内の主要はくさい産地（黒ボク土）で実施しました。県内の黒ボク土野菜畑 59 地点における可給態窒素の度数分布は4～6mg/100gが一番多く、試験圃場は3.1～7.1mg/100gでした（図3-4-1）。

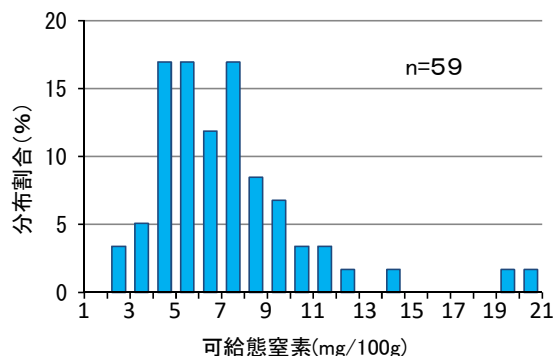


図3-4-1 長野県内の黒ボク土野菜畑の可給態窒素分布 (2009～2012年 長野県農業試験場)

【実証試験の概要】

長野県のはくさい産地は標高700～1300mに分布し、夏季の冷涼な気候を生かして、5月下旬～11月上旬まで出荷されています。実証試験は表3-4-1に示す県内の主要産地で行いました。実証試験では可給態窒素量に応じた窒素の減肥が主目的ですが、リン酸、カリについても試験的に以下の方法で減肥を試みました。

窒素	減肥・増肥の基準となる可給態窒素量を3mg/100g乾土とし、「パックちゃん」により推奨窒素施肥量を算出
リン酸	長野県土壌診断施肥診断システム「Dr.大地」における診断基準値を基に、平成22年度普及に移す農業技術（試行技術）「可給態リン酸が50mg/100g以上であれば夏まきハクサイのりん酸施肥を全量削減できる」の成果を組み込んで減肥。可給態リン酸が50mg/100g乾土以上の場合、リン酸を無施用とした。
カリ	長野県土壌診断施肥診断システム「Dr.大地」における診断基準で算出。カリ飽和度が5%未満の場合基準どおり施用。5～15%の場合、算出式に基づく減肥率で減肥。15%を超える場合、100%減肥。

※リン酸、カリについては長野県「土づくりガイドブック第3版」参照

【現地実証試験結果の概要】

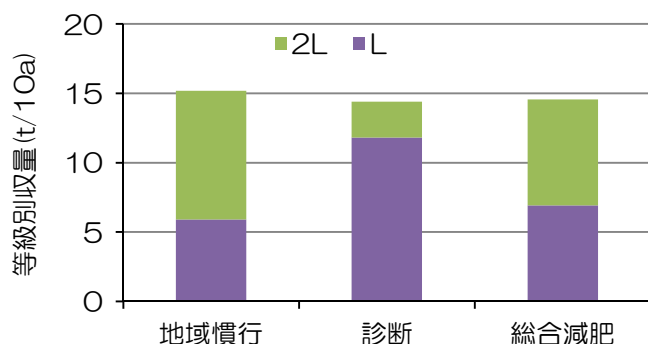
一例として可給態窒素が7.1mg/100g、可給態リン酸が244mg/100g、カリ飽和度が8.2%の圃場で実施した初夏どりはくさい試験の結果を示します。

地域慣行施肥量に対して、窒素のみ11%減肥の診断区、窒素11%・リン酸100%・カリ46%減肥の総合減肥区を設置しました。

診断区、総合減肥区の収量及びL級以上の割合は、地域慣行区とほぼ同等でした（図3-4-2）。

表3-4-1 実証試験の実施状況

作型	標高(m)	定植	収穫
初夏どり	819	3月25日	5月27日
夏どり	1250	5月20日	7月9日
夏どり	1250	5月30日	7月20日
夏どり	760	4月30日	6月29日
秋どり	1250	8月4日	10月3日
秋どり	900	8月10日	10月6日
秋どり	760	8月20日	10月22日



1) 土壌診断結果(mg/100g)
 可給態窒素 7.1
 可給態リン酸 244
 交換性カリ 179(飽和度8.2%)
 2) 地域慣行区(10a当たり窒素19kg, リン酸22kg, カリ12kg)に対して、診断区は窒素のみ11%減肥。総合減肥区は窒素11%, リン酸100%, カリ46%を減肥。(診断区は、他の2区に比べて傾斜上方向に位置し、やや干ばつの影響をうけた)

図3-4-2 可給態窒素レベルに応じた施肥と初夏どりはくさいの収量 (2019年・現地(標高819m))

次に、可給態窒素が 3.5mg/100g、可給態リン酸が 66mg/100g、カリ飽和度が 6.7%の圃場で実施した秋どりはくさい試験の結果を示します。地域慣行施肥量に対して、窒素のみ 10%減肥の診断区、窒素 10%・リン酸 100%・カリ 34%減肥の総合減肥区を設置しました。診断区、総合減肥区の収量及びL級以上の割合は地域慣行区とほぼ同等でした（図 3-4-3）。

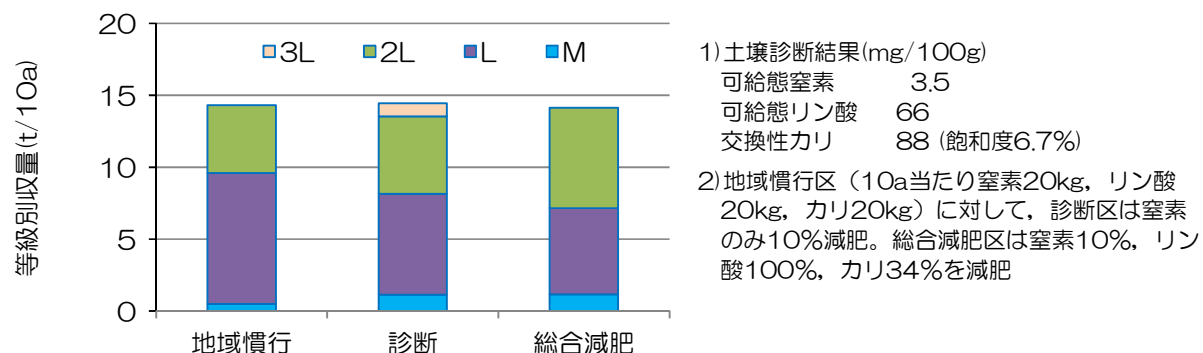


図 3-4-3 可給態窒素レベルに応じた施肥と秋どりはくさいの収量 (2018 年現地 (標高 760m))

【肥料コストの削減】

可給態窒素レベルが高い圃場では窒素やリン酸、カリを減肥したにもかかわらず、慣行区と診断区、総合区のL級以上比率は同等で、10aあたりの肥料費は慣行区に比べて窒素のみを減肥した診断区で 2,261 円減、窒素のほかにリン酸・カリも減肥した総合減肥区では 12,883 円減となりました。また、可給態窒素レベルが低い圃場では増肥により、慣行区に比べ他の2つの区ではL級以上比率が高くなりました。窒素増肥により 10aあたりの肥料費は診断区では 434 円と微増しましたが、総合減肥区ではリン酸とカリを減肥したため 9,749 円減となりました（表 3-4-2）。

表3-4-2 可給態窒素レベルの異なる圃場での肥料費比較

可給態窒素 (mg/100g)	試験区	施肥量(kg/10a)			等級割合(%) L級以上	肥料費 ¹⁾ (円/10a)	慣行差 (円/10a)
		窒素	リン酸	カリ			
高 ²⁾ 7.1	慣行	19.0	22.0	12.0	100	17,478	—
	診断	16.9	22.0	12.0	100	15,217	-2,261
	総合	16.9	0	6.5	100	4,595	-12,883
低 ³⁾ 2.2	慣行	20.0	20.0	20.0	35	15,836	—
	診断	22.0	20.0	20.0	40	16,270	434
	総合	22.0	0	9.0	65	6,087	-9,749

注1) 使用量と販売価格から算出

2) 2019年現地(標高819m)・初夏どり 可給態リン酸244mg/100g, 交換性カリ179mg/100g

3) 2018年場内(標高750m)・秋どり 可給態リン酸71mg/100g, 交換性カリ139mg/100g

3-5 秋冬キャベツでの現地実証（愛知県）

【背景・ねらい】

愛知県の露地畑圃場は、腐植が少なく、保肥力の小さい土壌が多いため、これまで家畜ふん堆肥をはじめとする有機物の施用による土壌改良が行われてきました。しかし、堆肥の連用によって土壌の可給態窒素（窒素肥沃度）が過度に高まったり、堆肥に含まれるリン酸、カリを考慮せずに施肥を続けたために土壌中の蓄積量が増加している圃場も多くなっています（図3-5-1、3-5-2）。そこで、土壌の可給態窒素と堆肥に含まれる肥料成分を考慮した施肥診断により、収量性や肥料費からみた収益性向上について検証しました。

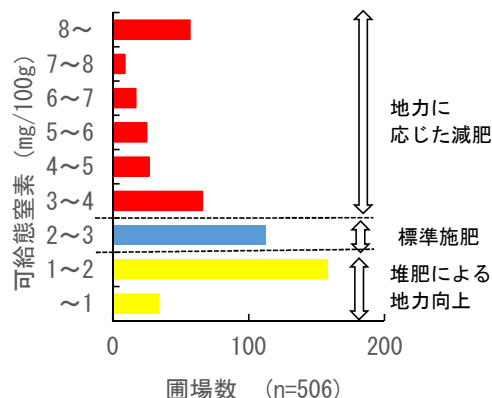


図3-5-1 県内露地畑の可給態窒素の分布

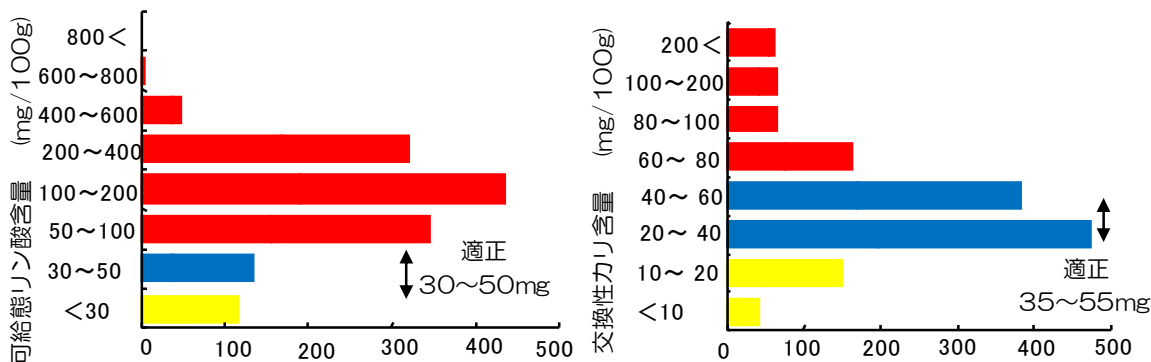


図3-5-2 県内露地畑土壌の可給態リン酸（左）、交換性カリ（右）の分布（2009年JAあいち経済連の土壌分析結果による、n=1402）

【実証試験の概要】

実証試験は、牛ふん堆肥を長年連用しており、可給態窒素が4.1mg/100gと高いキャベツほ場で実施しました。しかし、今回は目標収量を高く設定したため（7.1t/10a）、慣行区では必要な窒素吸収量に対して、堆肥の肥料成分および簡易測定法による可給態窒素を考慮しても、窒素が不足すると考え、診断区では窒素を増肥しました（表3-5-1）。また、リン酸、カリについては、堆肥に含まれる成分は全て化学肥料に代替できるものとして減肥を行いました。

表3-5-1 実証試験の施肥概要

試験区	可給態窒素 ^{1,2)}	可給態P ₂ O ₅ ²⁾	交換性K ₂ O ²⁾	堆肥			施肥量 ⁴⁾			
				施用量 ³⁾	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
				(t/10a)	(kg/10a)			(kg/10a)		
慣行	4.1	58	28	0.9	16.7	11.2	31.3	27.2	8.4	26.2
診断	4.1	58	28	0.9	16.7	11.2	31.3	31.2	2.4	18.0

※2章-6における県設定の目標収量5.5t/10aであるが、実証地域における目標収量は7.1tである

そこで、図2-6-2の回帰式から窒素施肥量を再計算した（収量7.1t/10aのとき窒素吸収量30.0kg/10a）

1)簡易法による 2)堆肥施用前に採取した土壌の分析値 3)乾物あたり

4)慣行区は高度化成(14-8-14)、(16-2-15)、(13-7-9)を分施 診断区は硫安、高度化成(16-2-15)、(13-7-9)を分施

5)作目：キャベツ(品種：ゆいな)、定植：2018年10月3日、収穫：2019年2月12日 6)土壌：細粒質台地黄色土

【結果の概要】

キャベツの収量は、どちらの試験区も目標収量よりも多くなりました。診断区では慣行比103%で慣行区よりもわずかに増加しました（図3-5-3、写真3-5-1）。また、リン酸、カリを減肥しても、作物体によるリン、カリウムの吸収の低下はみられず、土壌へのリン酸の蓄積は抑えられる結果となり、堆肥に含まれるリン酸、カリが肥料として利用できることが明らかとなりました（表3-5-2）。

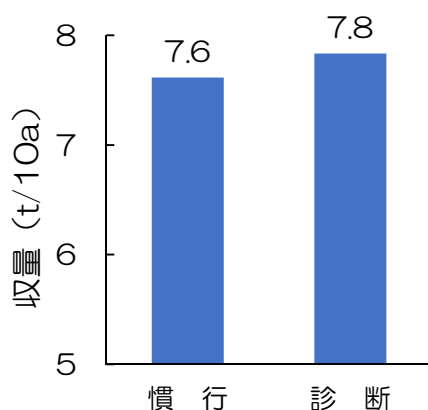


写真3-5-1 収穫したキャベツ
（上：慣行区，下：診断区）

表 3-5-2 キャベツのリン、カリウム吸収量と土壌中可給態リン酸，交換性カリ含量

試験区	P吸収量 (kg/10a)	K吸収量 (kg/10a)	可給態リン酸		交換性カリ	
			作付前 (mg/100g)	収穫後 (mg/100g)	作付前 (mg/100g)	収穫後 (mg/100g)
慣行	4.7	33.6	57.6	78.2	28	39
診断	5.0	36.0	61.8	61.8	28	38

【生産コスト】

診断区では、慣行区と比較して肥料費が減少し、収量が多かったため、10a 当たりの収益は20,763円増加しました（表3-5-3）。

表 3-5-3 実証試験における収益性

試験区	肥料費 ¹⁾ (A) (円/10a)	販売額 ²⁾ (B) (円/10a)	(B) - (A) (円/10a)
慣行	24,551	602,240	577,689
診断	21,146	619,598	598,452

20,763円の増加

1) 購入実費等から算出

2) JA愛知みなみ平均販売単価（平成24～27年度）に基づいて算出

3-6 秋どりレタスでの現地実証（茨城県）

【現地実証の概要】

秋どりレタスは生育期間が高温期にあたり、窒素過剰の影響を受けやすい作型ですが、土壌中の窒素量は作付け体系等の影響で圃場によって大きく異なります(図 3-6-1)。そこで、土壌分析に基づいて施肥量を決定することで、安定的な生産及び施肥コストの削減を目指しました。

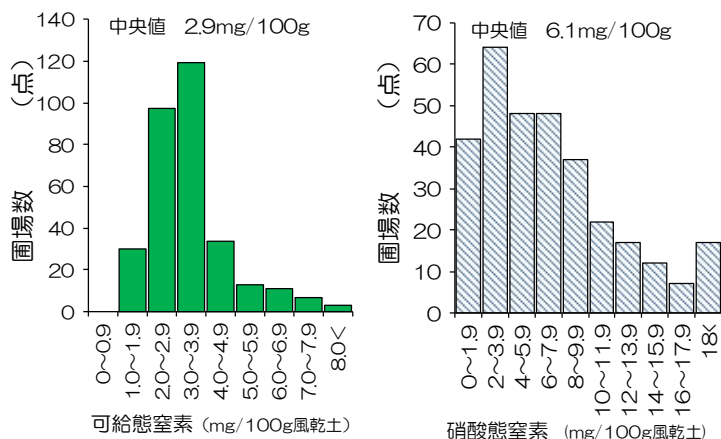


図 3-6-1 レタス産地における窒素量の分布

【実証試験の概要】

茨城県内レタス産地の現地圃場において、10月、11月どりそれぞれ2地点で実施しました。窒素については、前述の手法(2章-7)に基づいて施肥量を算出するN診断区に加え、「パックちゃん」(5章参照)を用いて栽培期間中の無機化窒素量を推定するN推定区を設け、より簡易な施肥量の算出を試みました(表 3-6-1)。試算の結果、窒素は慣行施肥量から26~65%の減肥とし、リン酸及びカリについては、60~100%の大幅な減肥としました(表 3-6-2)。

表 3-6-1 実証試験における各成分の減肥基準

窒素	N診断区	施肥指針の作成(2-7)と同様の手法を用いて算出した基準値(平畝は10月どり:10, 11月どり15)に基づき、作付け前土壌中の可給態窒素および硝酸態窒素を基準値から差し引いて施肥量を算出
	N推定区	「パックちゃん」を用いて、栽培期間中の無機化窒素量を可給態窒素および地温、県内土壌の無機化特性値から推定し、目標階級を得るために必要な供給窒素量から差し引いて施肥量を算出
リン酸	可給態リン酸が60mg/100g風乾土の場合は作物吸収量相当を施用とし、100mg以上の場合は無施肥とした。「茨城県生産資材費高騰に対する技術支援マニュアル(H20)」より	
カリ	交換性カリが改良基準値(40mg/100g)以上の場合、基準値から超過した分を標準施肥量から差し引いて施肥量を決定した。「茨城県生産資材費高騰に対する技術支援マニュアル(H20)」より	

表 3-6-2 実証試験の概要

試験場所 収穫時期	栽培様式	栽培前土壌の化学性				試験区	施肥量		
		硝酸態 窒素	可給態 窒素	可給態 リン酸	交換性 カリ		窒素	リン酸	カリ
		(mg/100g)				(kg/10a) (慣行比%)			
結城市 10月どり	全面マルチ	4.8	3.0	63	75	慣行区	10.0	10.0	10.0
						N診断区	7.2 (-28%)	3.0 (-70%)	0.0 (-100%)
						N推定区	7.4 (-26%)	3.0 (-70%)	0.0 (-100%)
坂東市 10月どり	平畝 4条植え	1.3	2.7	106	91	慣行区	10.0	10.0	10.0
						N診断区	6.0 (-40%)	0.0 (-100%)	0.0 (-100%)
						N推定区	5.0 (-50%)	0.0 (-100%)	0.0 (-100%)
結城市 11月どり	全面マルチ	7.5	4.0	78	46	慣行区	10.0	10.0	10.0
						N診断区	3.5 (-65%)	3.0 (-70%)	4.0 (-60%)
						N推定区	6.1 (-39%)	3.0 (-70%)	4.0 (-60%)
坂東市 11月どり	平畝 4条植え	1.3	2.5	159	89	慣行区	15.0	10.0	10.0
						N診断区	11.2 (-25%)	0.0 (-100%)	0.0 (-100%)
						N推定区	9.4 (-37%)	0.0 (-100%)	0.0 (-100%)

注) 試験圃場はいずれも黒ボク土。窒素は硫酸、リン酸は重焼リン、カリは硫酸カリウムを用いて施用した

【結果の概要】

調整重は慣行区と比較して N 診断区, N 推定区ともやや劣りましたが, 坂東市の 10 月どり圃場などでは, 減肥をおこなった区において A 品率が向上し, 産地の目標階級(AL 品+A2L 品)の発生割合は同等以上となりました(図 3-6-2)。

【生産コスト】

硫安や, 硫酸カリ, 重焼リンといった単肥を用いることで, それぞれの成分を最低限の量で施用することができたことから, 肥料費は約 6,000~9,000 円/10a 程度削減することが出来ました。また, 11 月どりを中心に, 単価の高い目標階級 (AL, A2L) の発生割合が高まったことから, 販売額が増加し, 適期に収穫したほ場ではいずれも収益性が向上しました(表 3-6-3)。

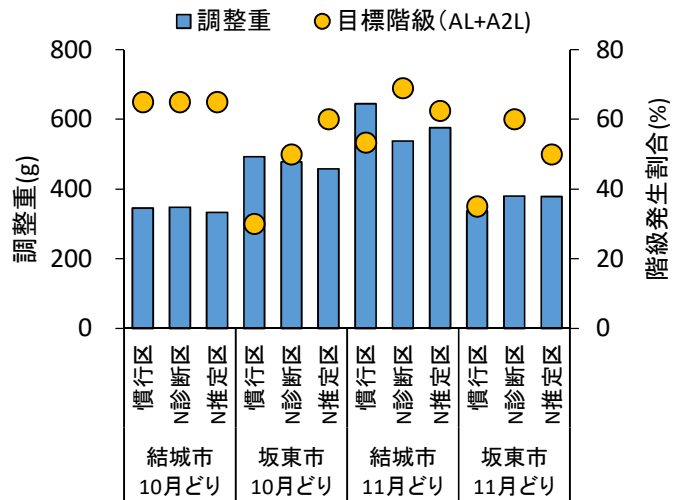


図 3-6-2 生育調査結果



写真 左：慣行区 右：N推定区(坂東市 10月どり)

【リン酸・カリについて】

今回の試験では, いずれの圃場でも可給態リン酸や交換性カリが多量に存在する場合, リン酸, カリを大幅に削減しても生育に問題ないことを実証することができました。

ただし, 単肥を組み合わせた施肥は設計や計量等に手間がかかるため, 生産者の労力や土壌の実態に合わせた施肥を行うことが重要となります。例として, 低 PK 肥料を用い, 施肥指針に基づいて算出した窒素量ベースで施肥量を決定することによって, 品質の安定化と, 施肥コストの削減を無理なく実現できると考えられます。

表3-6-3 現地実証試験における収益性の試算結果

試験場所 収穫時期	試験区	肥料費 ¹⁾		販売額 ²⁾		収益性 ³⁾
		(円/10a)	慣行差	(千円/10a)	慣行差	(千円/10a)
結城市 10月どり	慣行区	10,420	0	588	0	0
	N診断区	3,402	-7,018	588	0	7
	N推定区	3,461	-6,959	588	0	7
坂東市 10月どり	慣行区	10,420	0	510	0	0
	N診断区	1,766	-8,654	560	50	59
	N推定区	1,471	-8,948	553	43	52
結城市 11月どり	慣行区	10,420	0	342	0	0
	N診断区	3,593	-6,827	380	38	45
	N推定区	4,358	-6,062	384	42	48
坂東市 11月どり	慣行区	11,891	0	336	0	0
	N診断区	3,296	-8,595	366	30	39
	N推定区	2,766	-9,125	356	20	29

1) 肥料費は肥料販売価格より算出した
 2) 販売額は規格別割合および栽植株数, 階級別の月別平均販売単価(H30)を基に算出した
 3) 収益性は販売額から肥料費を差し引き, 慣行区との差から算出した

4章 可給態窒素を窒素施肥量の加減に活用するための考え方

4-1 可給態窒素とは

畑土壌の可給態窒素は「30℃4週間保温静置培養法」で求められます。測定方法は、風乾細土に適度な（通常は乾土当たり最大容水量の50～60%になるように）水分を加え、30℃に設定した恒温機のなかで4週間静置培養します。すると、土壌中の有機物の一部が土壌微生物によって分解され、作物が利用可能な無機態窒素に変わります。その4週間の培養期間中に増加した無機態窒素の生成量を可給態窒素としています。簡易法として開発された「80℃16時間水抽出—CODパケットテスト判定法」は、この「30℃4週間保温静置培養法」によって測定する無機態窒素生成量を推定するものです（図4-1）。簡易法の詳細については6章を参照してください。

このように、可給態窒素は土壌微生物が活動しやすい環境条件下で求めたものであるため、その土壌のもつ潜在的な窒素無機化量であるといえます。

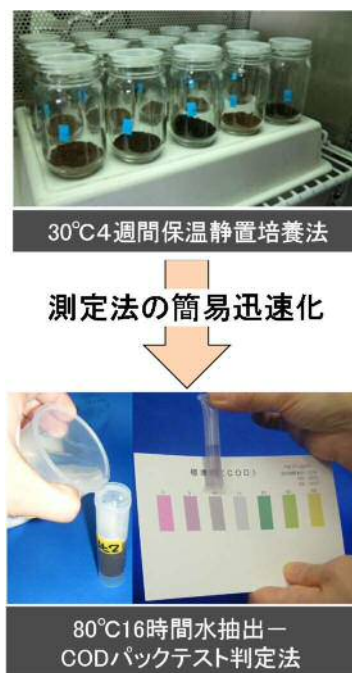


図4-1 培養法と簡易法

4-2 可給態窒素の窒素施肥への活用

可給態窒素は、土壌の窒素肥沃度の指標であるため、分析値（一般に mg/100g）を、単純にそのまま窒素施肥量(kg/10a)に読み替えることはできません。

一般に、可給態窒素レベルに応じた窒素施肥基準を作成するためには、図4-2のように、可給態窒素レベルの異なる畑を準備して、数段階の窒素施肥量に設定した栽培試験を複数年通して求めなければなりません。



図4-2 可給態窒素レベルに応じた栽培試験の設定

しかし、野菜作には多くの品目があり、地域、品種、作型等も含めるとさらに増えるため、この方法は現実的ではありません。

必要なことは、野菜の栽培期間中における窒素無機化量を求めることです。窒素無機化には土壌微生物が関与するため、土壌有機物、地温、水分などの土壌環境条件が大きく影響しますが、このプロジェクト研究では、最も影響が大きい地温に焦点を絞って窒素無機化量を推定することにしました。

4-3 可給態窒素から窒素無機化量を推定するために

可給態窒素は 30℃ 4週間保温静置培養条件における窒素無機化量です。この値から実際に野菜が栽培される圃場条件で無機化される窒素の量を推定しなければなりません。可給態窒素の室内実験条件と野菜を栽培する圃場条件との違いは、期間・地温・水分・土壌の量など様々です。

1) 土壤水分

水田の可給態窒素測定法である「湛水培養法」では、風乾土培養と生土培養で得られた測定値が大きく異なる（乾土効果）ことが知られています。

畑の可給態窒素においても、生土のまま培養するよりも、いったん風乾土にした後、同じ水分条件になるように加水して培養する方が、窒素無機化量が増加します（図 4-3）。可給態窒素の測定には風乾土を用いるため、実際の圃場での窒素の無機化量を求めるためには補正が必要です。

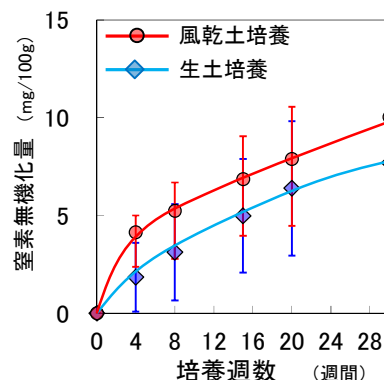


図 4-3 風乾土と生土培養の違い

また、地域によって降水量が大きく異なります。

本プロジェクト参画県では、最も多いのが鹿児島県(年間降水量 2,266mm)、少ないのが長野県(年間降水量 933mm)です（図 4-4）。畑状態での無機化窒素は、硝酸態窒素になって降雨等で下層へ移動し、作物に利用されないことが想定されるため、厳密には窒素利用率による調整が必要になります。

2) 地温

室内培養条件と野菜の栽培条件で最も異なるのが地温です。30℃ 4週間の培養条件と野菜栽培期間の地温条件は必ずしも一致しません。地域によっても大きく異なりますので、その地域、作型の地温条件に合致するように変換する必要があります（図 4-4 の折れ線グラフは各地の平均気温ですが地温も同様の傾向であり、各地で大きく異なります）。

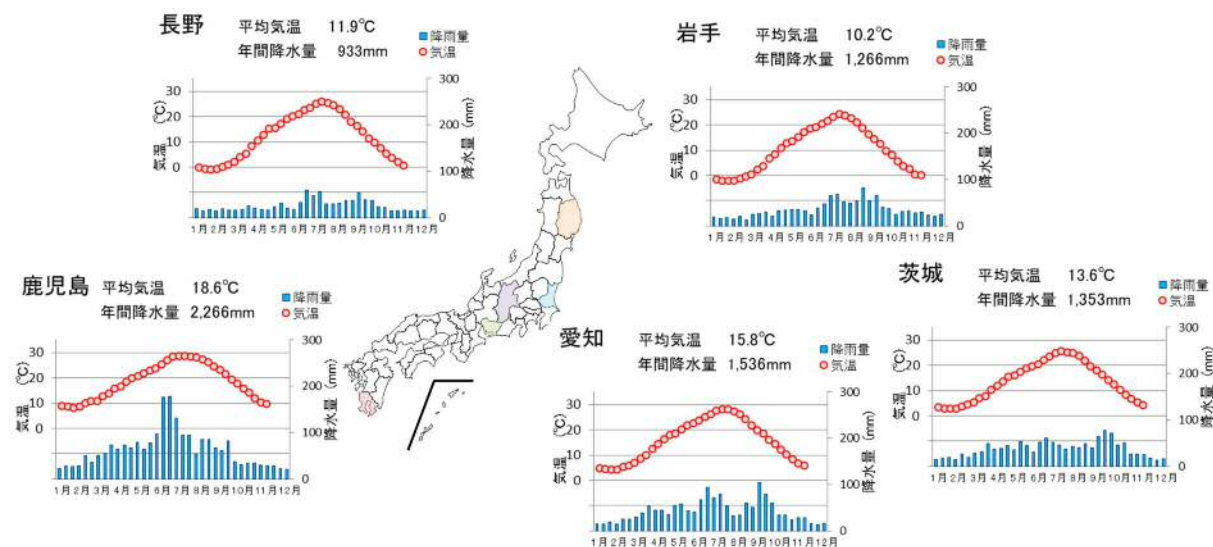


図 4-4 気温および降水量の違い

3) 速度論的窒素無機化量の予測

窒素無機化量の推定には様々な方法がありますが、このプロジェクト研究では「反応速度論的手法」を利用することになっています。

詳しいことは専門書（杉原進，金野隆光，石井和夫，土壤中における有機態窒素無機化の反応速度論的解析法，農業環境技術研究所報告，1，127-166(1986)など）を参考していただくとして，求めるのは「野菜の栽培期間中に変化する地温」が，可給態窒素の培養測定条件である「30℃に変換すると何日に相当するのか？」です。

なお，土壤の窒素無機化パターンは複雑ですが，ここでは単純型モデルに当てはめて求めることにしています。

$$N = N_0 (1 - \exp(-k t))$$

Nは窒素無機化量， N_0 は易分解性窒素量（ほぼ可給態窒素に相当），

kは窒素無機化の速度定数， t は反応時間。

また，速度定数のkは温度との関係であるアレニウスの式で表すことができます。

$$k = A \cdot \exp(-E_a / RT)$$

Aは定数， E_a はみかけの活性化エネルギー， R は気体定数， T は絶対温度。

窒素無機化の特性値である N_0 ， k ， E_a の3つを求めるには，図4-5のように，土壤を温度の異なる条件（例えば20℃，25℃，30℃）で長期間培養し（図4-6），無機化データ解析プログラムを用いて，単純型モデルに当てはめて30℃を基準温度とした無機化曲線に重ね合わせ，最も分散が小さい3つの特性値を最適として選びます。

そして，3つの特性値と無機化曲線式で野菜の栽培期間の地温が30℃で何日間に相当するのかに変換します。

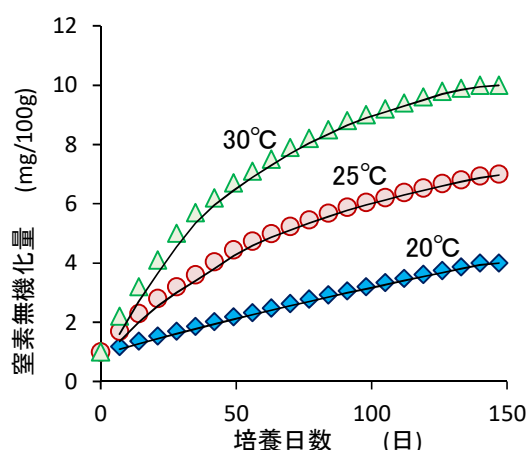


図4-5 培養温度と窒素無機化

4) 窒素無機化量の地域間差

窒素無機化速度および量は，温度によって大きく異なります。本プロジェクト参画県でシミュレートすると，同じ可給態窒素レベルでも地温条件によって異なることがわかります。

図4-7の縦軸は，各県の平均地温に基づいて可給態窒素1mg/100gが窒素肥料で何kg/10aに相当するかを旬ごとに示したものです。

※シミュレーション条件は下記の通りです。

土壤：黒ボク土，土壤の深さ：30cm，

無機化窒素の利用率：50%



図4-6 保温静置培養

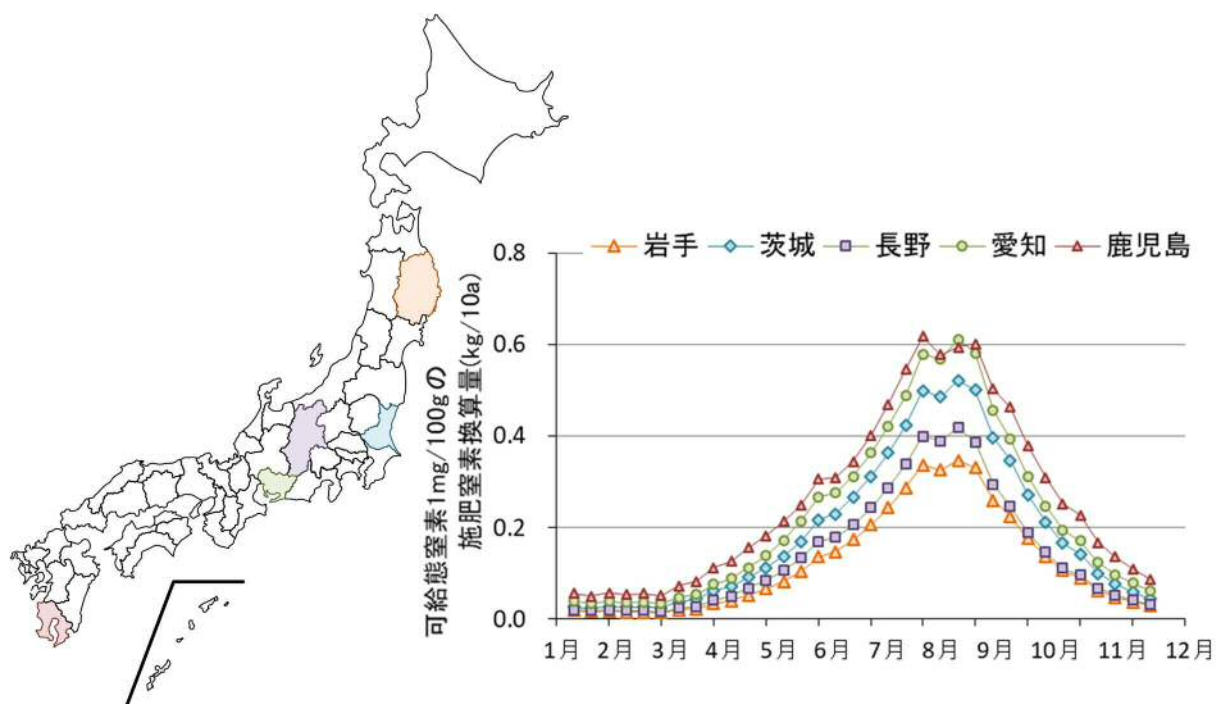


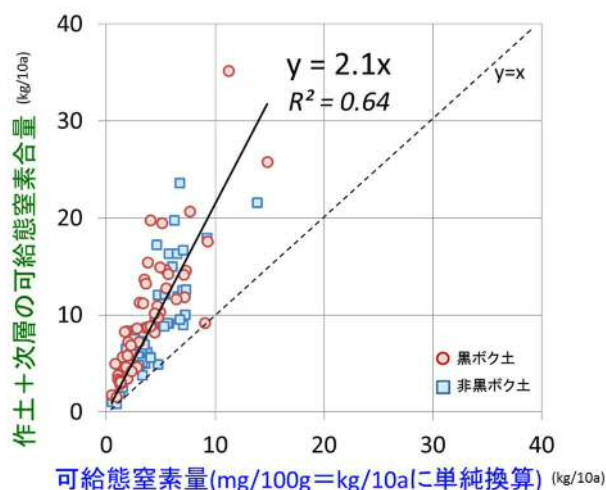
図 4-7 気温（地温）の違いが旬ごとの窒素無機化量に及ぼす影響

5) 窒素無機化として換算する土壌の深さ

一般に、土壌分析結果 (mg/100g) を診断処方箋 (kg/10a) に読み替える場合、作土層 15cm 程度を想定します。

岩手県で実施した施設トマトの事例において、根群域を制御した隔離ベッド栽培では、窒素無機化量と作物吸収量が合致しましたが、土耕栽培では、作物吸収量が多くなり、作土層より下からも無機化窒素を吸収していると考えられました。他にも、可給態窒素レベルの異なる圃場試験で野菜を栽培し、みかけの可給態窒素の利用率を作土層だけで計算すると 100%を超過することがあります。そこで、暫定的に深さ 30cm を採用しました（野菜ごとの根群域については未検討）。

なお、過去の調査データから、作土層 + 次層 (30cm) の窒素無機化量は、作土層 (15cm) の無機化量の 2.1 倍でした（図 4-8）。



- ※1) 土壌環境基礎調査、土壌機能実態モニタリング調査結果のうち、地目が「野菜畑 (n=113)」の調査データを抜粋した
- 2) 横軸は作土層の可給態窒素値 (mg/100g) を単純に (kg/10a) 換算した量
- 3) 縦軸は作土層と次層それぞれの可給態窒素量について、可給態窒素値・土壌深度・仮比重から求めた含量

図 4-8 深さ 30cm までの可給態窒素の推定

4章 可給態窒素を窒素施肥量の加減に活用するための考え方

以上、可給態窒素から窒素無機化量を推定するためには、多くの情報が必要で、情報量が多いほど、より精度の高い指針作成が可能です。そして、指針を作成する際は、必ず栽培実証を行って、実証結果をフィードバックしながら作成していくことが大切です（図 4-9）。

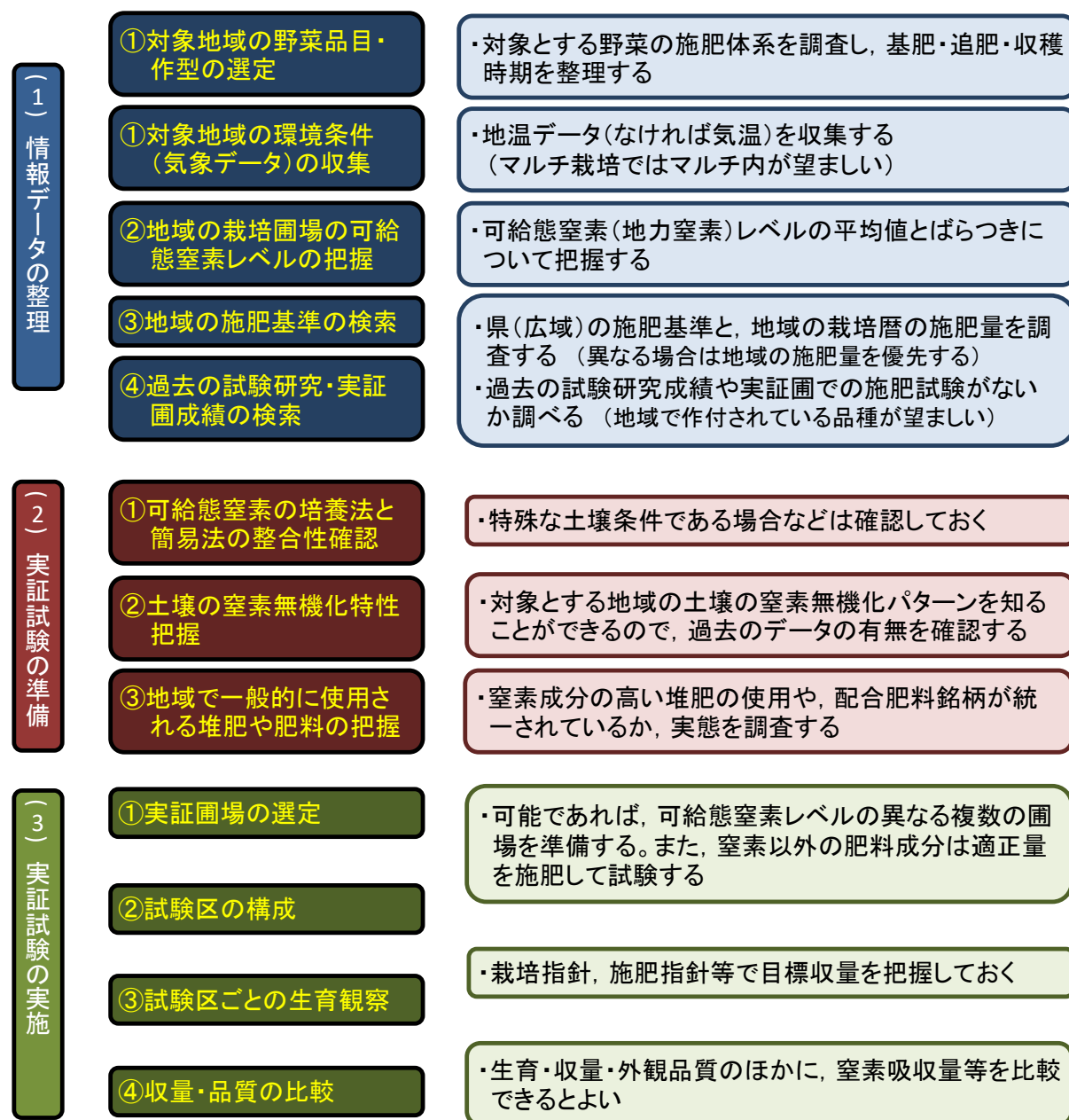


図 4-9 可給態窒素レベルに応じた窒素施肥指針作成のための手順

5章 可給態窒素を窒素施肥量に換算する表計算シート「パックちゃん」を用いた施肥指針作成の手引き

5-1 表計算シート「パックちゃん」とは

4章で示したとおり、土壌の可給態窒素分析値は、他の土壌診断値のように 1mg/100g ≒ 1kg/10a に単純換算することができません。このため、反応速度論的手法を用いて、野菜の栽培期間における平均地温が培養条件である 30℃で何日間に相当するかを推定し、可給態窒素 1mg/100g が施肥窒素で何 kg/10a に相当するかを計算する表計算シート「パックちゃん」を作成しました（図 5-1）。

このシートは、パックテスト COD の色判定シートとともに、「鹿児島県農業開発総合センター」のHPからダウンロードが可能です。

<https://www.pref.kagoshima.jp/ag11/index.html>

本章では、「パックちゃん」を使った窒素施肥指針の作成方法について説明します。

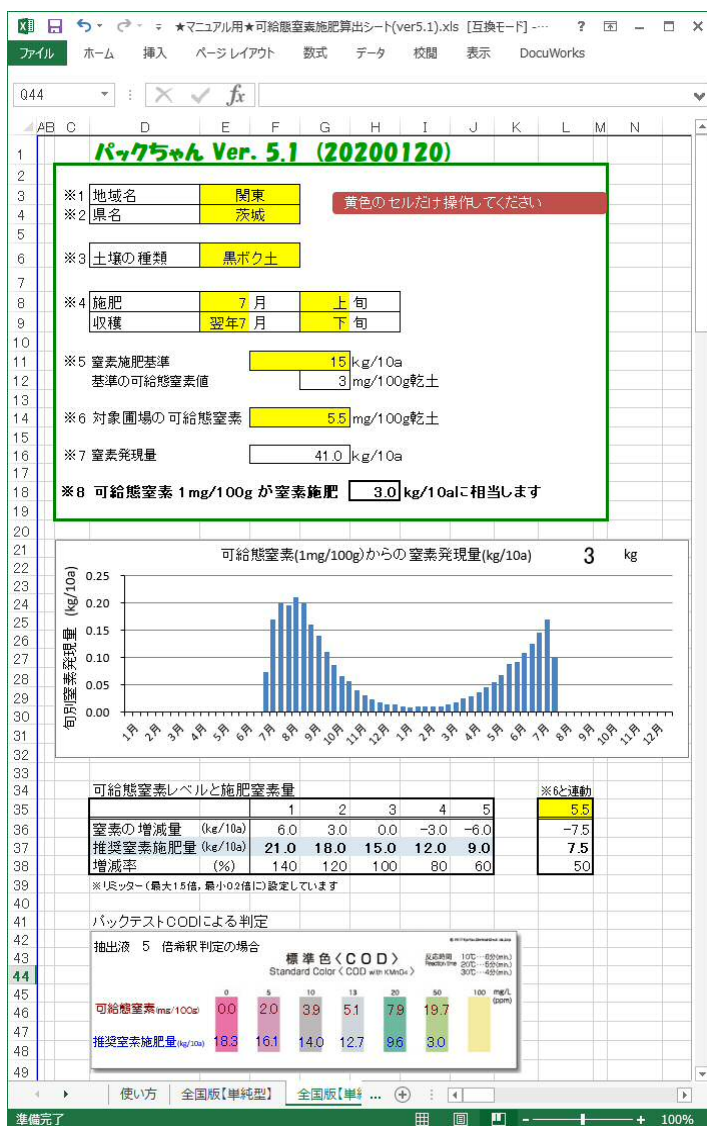


図 5-1 パックちゃん Ver5.1 のワークシート

5-2 パックちゃん Ver5.1 の計算のしくみ

パックちゃんは、地域(県単位)、土壌(黒ボク土か非黒ボク土)、施肥期および収穫期を選択することで、登録済みの該当地域の地温データを使って、期間中の窒素発現量が求められます。この窒素発現量は mg/100g です。これを窒素肥料相当量 kg/10a に換算するために、風乾土→生土換算、窒素利用率、土層の深さの3つの係数を乗じています。

このなかで、窒素利用率は数値の判断が難しいところです。例えば、速効性の窒素肥料の利用率は50%程度ですが、肥効調節型肥料を使ったり、マルチ栽培をしたり、施肥位置を改善することによって、窒素利用率は向上します。一方、土壌の無機化窒素の利用率は、窒素肥料の利用率に比べて高いことが想像できますが、調査事例はほとんどありません。まずは、デフォルト値(窒素肥料および土壌無機化窒素の利用率50%)をつかってシミュレートしてください。

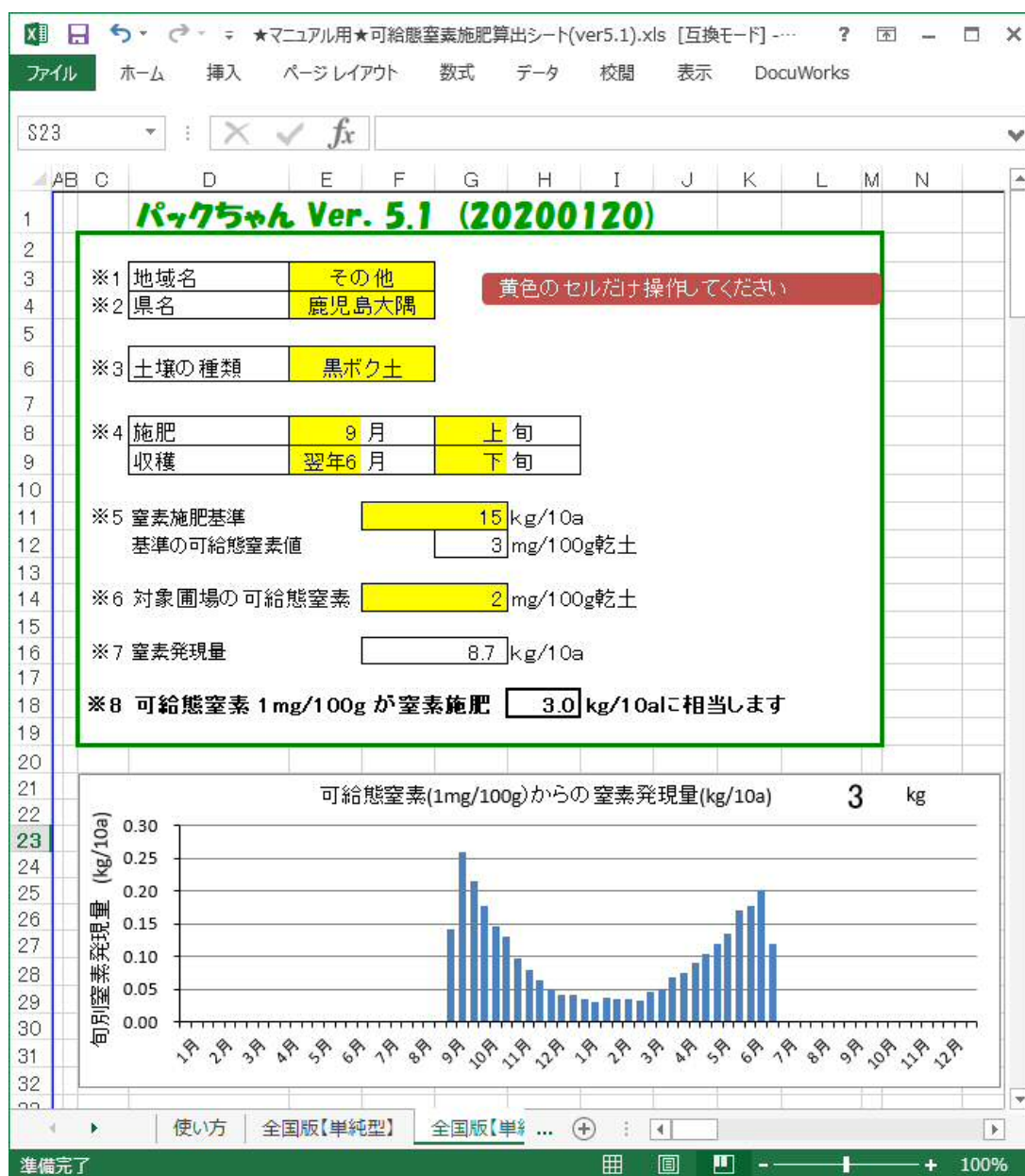


図 5-2 パックちゃんて求めた窒素発現パターン (グラフは9月～翌年6月)

5-3 パックちゃん Ver5.1 を使った窒素施肥基準案の作成手順

パックちゃんはシミュレーションシートです。これで作成した窒素施肥基準は必ず栽培試験で検証してから運用するようにしてください。

以下に、パックちゃんを使った窒素施肥基準案の作成手順を示します。

1) シミュレーションデータを入力します (図 5-3-1)

- ※1 と2で 地域を選択します (平均地温データと連動しています)
- ※3 土壌を選択します (黒ボク土または非黒ボク土)
- ※4 栽培期間(旬)を選択します
- ※5 該当する野菜作の窒素施肥基準を代入します
(その基準が可給態窒素で何 mg/100g で想定されているか? デフォルト値は 3mg/100g, 変更可)
- ※6 対象とする圃場の可給態窒素の値を代入します
- ※7 栽培期間の窒素発現量が算出されます
- ※8 **可給態窒素 1mg/100g が窒素施肥量で何 kg/10a に相当するか自動計算**されます

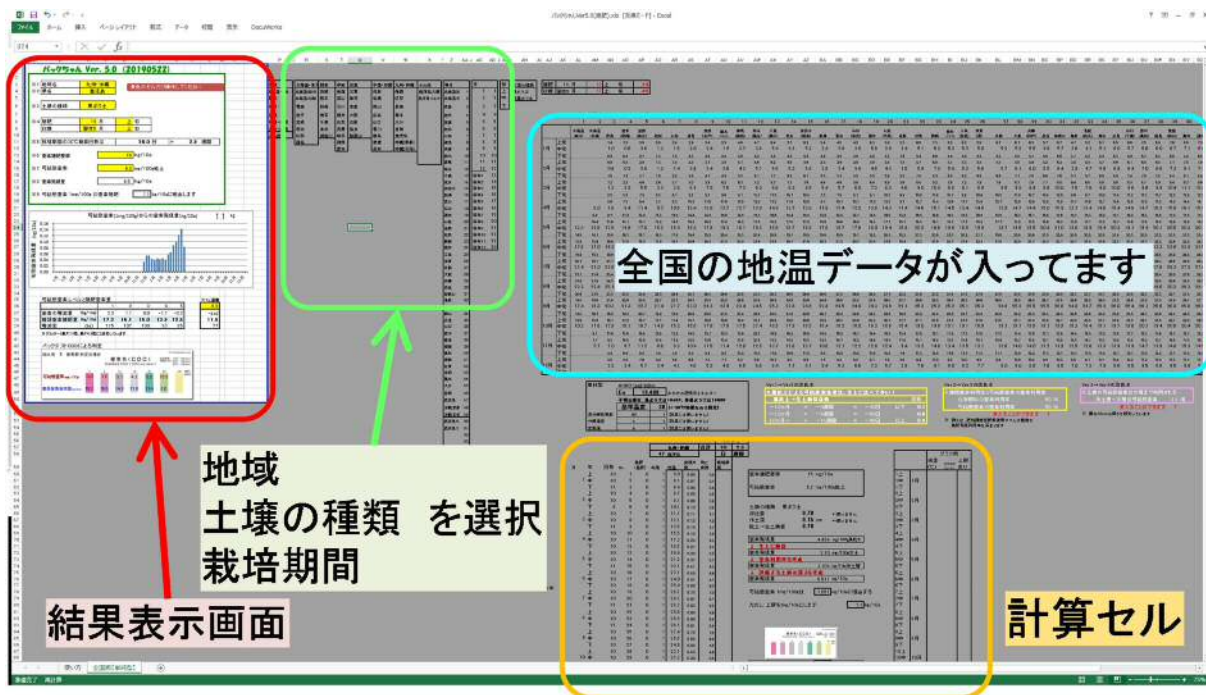


図 5-3-1 パックちゃんシートの全画面 (入力画面は図 5-2 参照)

- 2) 窒素発現パターンが確認できます (図 5-2 のグラフ)
- 3) 可給態窒素レベル (1~5mg/100g) に応じた窒素施肥量(案)が作成されます (表 5-3-1)

表 5-3-1 作成される可給態窒素レベルに応じた窒素施肥量の例

可給態窒素レベルと施肥窒素量		1	2	3	4	5
窒素の増減量	(kg/10a)	2.2	1.1	0.0	-1.1	-2.2
推奨窒素施肥量	(kg/10a)	17.2	16.1	15.0	13.9	12.8
増減率	(%)	115	107	100	93	85

4) 窒素施肥反応試験を実施します

可給態窒素レベルに応じた窒素施肥量案（表 5-3-1）をもとに、可給態窒素レベルの異なる複数の試験圃場で窒素施肥試験を実施します。

可給態窒素が異なる場合、リン酸、カリ、石灰など、他の土壌化学性も異なることが予想されますので、これらの養分が生育、収量に影響しないよう注意します。

5) 試験区の設定

対象野菜の窒素施肥基準量を確認します。

【注意】窒素施肥基準の考え方

窒素施肥基準は、平均的な窒素肥沃度の畑を対象として、目標収量を確保するために必要な窒素施肥量です。平均的な窒素肥沃度は地域によって異なりますが、露地畑では3mg/100g程度と考えられます。

3mg/100gを下回る場合は、堆肥等有機物を施用して、可給態窒素レベルを上げるようにします。ただし、可給態窒素レベルを上げるには時間がかかるため、応急的に窒素施肥量を増やして対応します。

一方、3mg/100gを超える場合は、減肥が可能です。

試験圃場の可給態窒素を測定し、値を代入します。

推奨窒素施肥量は、小数点第一位まで計算されます。この結果を基に、試験区を設定しますが、可給態窒素の差が大きいほど、結果がより明瞭になります。

例えば、鹿児島黒ボク土畑における野菜作で、窒素施肥基準が 20kg/10a で、植付け前の施肥を 9 月中旬、収穫期を翌年 1 月中旬に設定した場合、A 圃場の可給態窒素が 1.3mg/100g、B 圃場が 5.2mg/100g のとき、表 5-3-2 のような試験区の設定になります。

表5-3-2 シミュレーション結果による試験区の設定

試験場所 (圃場名)	可給態窒素 (mg/100g)	処理区名	窒素施肥量 (kg/10a)	慣行比 (%)
A	1.3	診断施肥	23.2	(116)
		(標準施肥)	20.0	(100)
B	5.2	診断施肥	15.8	(79)
		(標準施肥)	20.0	(100)

※シミュレーション条件
(地域)九州沖縄一(県)鹿児島, (土壌)黒ボク土,
(施肥→収穫)9月中旬→翌年1月中旬, 窒素施肥基準量20kg/10a

6) 試験結果を解析します

図 5-3-2 のような結果が得られるのが理想的です。

可給態窒素を考慮した「診断施肥」区では、同程度で目標収量が得られています。

一方、可給態窒素を考慮せず一律に窒素基準量を施肥した場合、可給態窒素レベルが高い場合は高収量が得られる場合もあります。可給態窒素レベルが低い場合は、目標収量に達しません。

このような結果が得られなかった場合は、窒素利用率の妥当性を検討します。

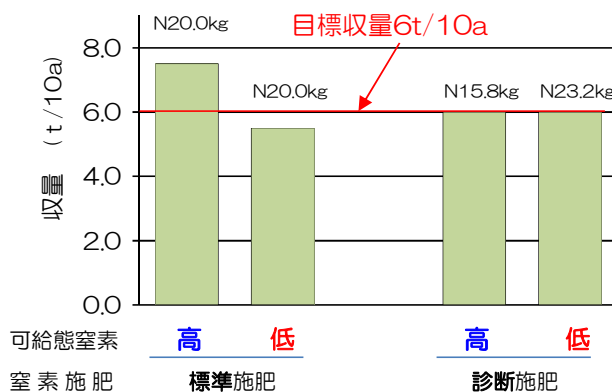


図5-3-2 試験結果事例

7) 窒素利用率の検討について

「パックちゃん」では施肥窒素利用率と土壤無機化窒素の利用度を50%に設定しています。

窒素利用率とは？

(みかけの施肥窒素利用率)

施肥した窒素が作物に利用される割合で、次式によって求められます。

$$\text{施肥窒素利用率} = \frac{\text{（施肥区の窒素吸収量 - 無窒素区の窒素吸収量）}}{\text{窒素施肥量}} \times 100$$

※それぞれ単位面積当たり(例えばkg/10a)で求める

では、土壤からの無機化窒素の利用度はどのように求めればよいのでしょうか？ 本来、可給態窒素は窒素肥沃度の指標値であるため、求めることはできません。ここでは、仮に次の式で求めることとしています。

無機化窒素の利用度

$$= \frac{\text{（可給態窒素A mg/100gにおける窒素吸収量 - 可給態窒素B mg/100gにおける窒素吸収量）}}{\text{（可給態窒素Aの施肥窒素相当量 - Bの施肥窒素相当量）}} \times 100$$

※窒素吸収量はkg/10aで求めるが、可給態窒素の単位はmg/100gであり、本来比較することはできないため可給態窒素の値を(kg/10a)に換算する。換算は、可給態窒素(mg/100g) × 土壤の深さ30cm × 仮比重とする。

これを、栽培する地域の野菜の環境条件で求めることで、より現実的な推定ができます。

表5-3-3は鹿児島県の試験事例(2章-3に関連)で計算した結果です。

表5-3-3 平成29年度の晩秋まきキャベツ試験から

	無機化窒素の施肥 窒素換算量 ※1)	窒素施肥	窒素吸収量 (kg/10a)
高可給態窒素 5mg/100g	12.0 Nkg/10a	無窒素	0kg/10a 11.1 …①
		標準施肥	20kg/10a 15.8 …②
低可給態窒素 2mg/100g	4.8 Nkg/10a	無窒素	0kg/10a 5.3 …③
		標準施肥	20kg/10a 14.2 …④

※1)黒ボク土(仮比重)0.7, 土壤の深さ30cmと仮定して計算

施肥窒素利用率 (①と②) (15.8-11.1)/20×100=24%

施肥窒素利用率 (③と④) (14.2-5.3)/20×100 = 45%

無機化窒素利用率 (①と③) (11.1-5.3)/(12.0-4.8)×100=81%

ただし、この考え方は暫定的なものなので、今後の研究で検討していく必要があります。

6章 可給態窒素簡易測定法に関する参考資料

6-1 可給態窒素の年次変動

可給態窒素は、どのくらいの頻度で測定した方がいいのでしょうか？

図 6-1-1 は、640 圃場の土壌化学性について、同一地点における4年間の分析値の変動係数をヒストグラムで表したものです。土壌固有値といわれる全窒素、全炭素、CECなどは時間変動が小さいですが、可給態窒素は可給態リン酸や交換性カリ等と同じくらい変動しました。堆肥等の施用によって変動しているものと考えられます。

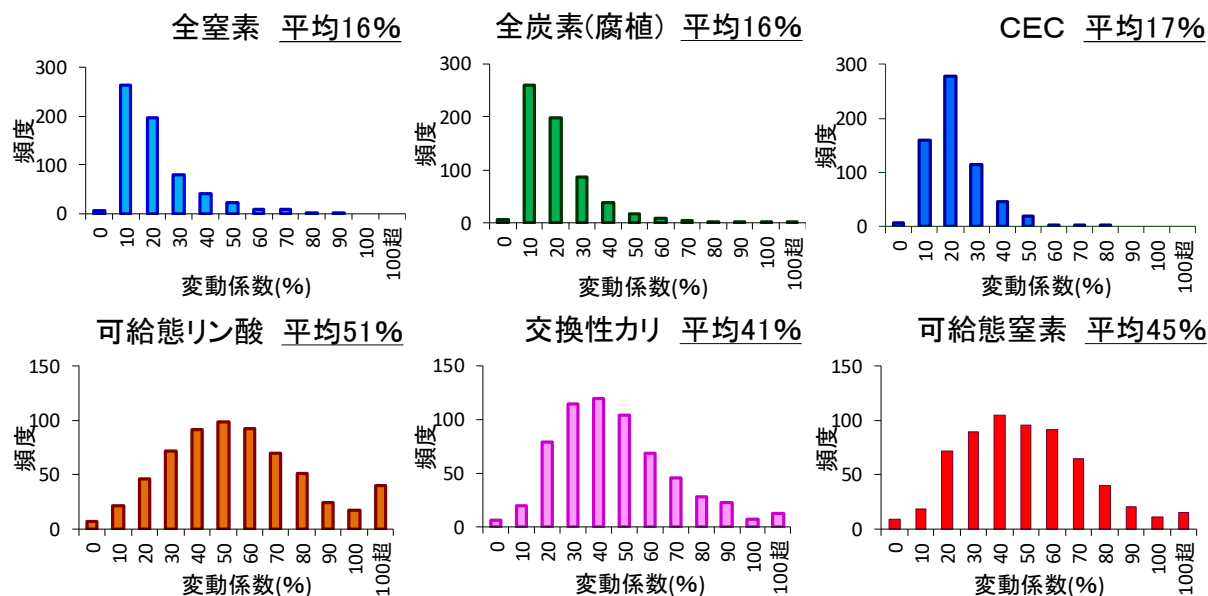


図 6-1-1 土壌の化学分析値の4年間の変動

また、堆肥を多投することで可給態窒素を高めることができますが、急激に高めた可給態窒素は、すぐに減少することが指摘されています（表 6-1）。

表6-1 ハクサイ試験圃場の可給態窒素の推移 (mg/100g乾土)

H29 長野県

堆肥施用量 (t/10a)	培養法	簡易法						
		4月18日	4月18日	5月16日	6月16日	7月15日	8月16日	9月16日
10	4.1	4.0	3.2	2.7	2.4	2.6	2.3	1.8
0	1.3	1.2	1.3	1.3	1.0	1.1	1.1	1.1

図 6-1-2 は、農業法人が有する同一現地ほ場の可給態窒素を2年間測り、散布図で表したものです（横軸がH29、縦軸がH30、それぞれ収穫後に採土）。

一定の関係性がうかがえます。

可給態窒素の測定を堆肥施用前とすれば、2～3年に一度の測定でもよいでしょう。

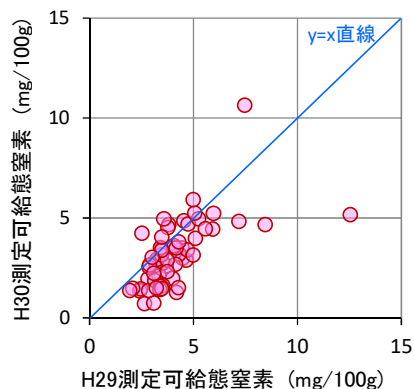


図 6-1-2 同一圃場における異なる年度における分析値の変化

6-2 可給態窒素簡易測定法（測定詳細手順）

可給態窒素簡易測定法（80℃16時間水抽出-COD パックテスト判定法）は、「畑土壌可給態窒素の簡易・迅速評価マニュアル（2010年9月発行）」に解説されています。また、中央農業研究センターの研究成果ダイジェストにマニュアル抜粋版 pdf が紹介されています。

http://www.naro.affrc.go.jp/laboratory/carc/result_digest/kankyo/dojou/O28095.html

ここでは、画像等を使ってより詳細に分析手順を紹介します。

【測定のながれ】

1日目の操作



①畑から土壌を採取する
〔生土・風乾土のどちらでも測定可能〕



②湯(80℃)を沸かす
〔COD=0であることを確認した市販のミネラルウォーターで代用可〕



③土壌を秤取する
〔生土の場合4.0g, 風乾土では3.0g〕



④80℃の湯を50mL注ぎ、蓋をして軽く振とうする



⑤80℃設定の乾燥機で16時間、静置加熱抽出する
〔家庭で行う場合は、80℃保温可能な電気ポットで代用可〕

2日目の操作



①保温終了後に、いったん振り混ぜて、室温まで冷却する



②加塩してろ過液の懸濁を除去するため
濁っていない場合は加塩、ろ過は省略可能



③5倍希釈して測定液とする



④COD簡易測定キット(パックテストCOD)を使い、測定液のCOD値を色判定する

①抽出作業

1)遠沈管を使って電気ポットで抽出する場合



1-1. 土壌3gを入れた遠沈管に80～90℃の湯を50mL注ぎます（あらかじめ遠沈管の目盛りの精度を確認しておきます）



1-2. 土壌懸濁液がもれないように、しっかりフタをしてよく混ぜます



1-3. 遠沈管の底に土壌が固まっていないことを確認します



1-4. 土壌をポット内に漏らさないため、チャック付きビニル袋等に入れて、80℃保温設定のポットに沈めます



1-5. ポットの中に沈めます。このとき袋が蒸気口をふさぐと湯が排出され、やけどを負う場合があるので、十分注意します



1-6. 80℃は必ず守ること。高くても、低くても正確に測れなくなってしまう。加温の16時間も±30分以内を守ります



1-7. 16時間保温後に取り出した状態。チャック付きビニル袋は、熱で変化するので、繰り返しは使えません



1-8. 取り出したときによく混ぜます。よく混ぜたら、室温に冷めるまで放置します

2) 遠沈管を使って乾燥機で抽出する場合



2-1. 1-3までの作業は一緒です。やけどに注意してよく混ぜます



2-2. ラックを使うと、遠沈管が倒れず、作業がしやすいです



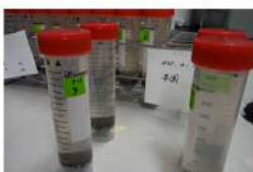
2-3. 使用する乾燥機は通風式でも、通風式でなくてもよい。あらかじめ80℃に設定しておきます



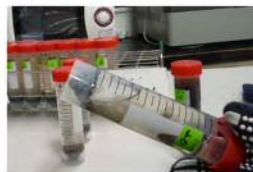
2-4. 乾燥機内で16時間保温します。加温時間は±30分以内を守ります



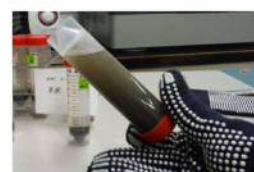
2-5. 16時間保温後に乾燥機から出します。前日17:00に開始した場合は翌朝9:00に取り出します



2-6. 取り出した直後は、土壌は沈殿しています



2-7. 土壌が先端の部分に溜まっています



2-8. よく混ぜます。その後は放置して冷却しながら、土壌粒子が沈殿するのを待ちます

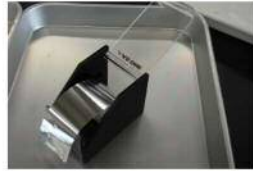
3) 三角フラスコを使って乾燥機で抽出する場合



3-1. 土壌を3.0g量り、三角フラスコに入れて、あらかじめ総重量を測定しておきます



3-2. やけどに十分注意します。慣れたら注ぎ口から直接湯を50ml程度入れます。ドリップ注湯モードが有効です



3-3. 湯を注いだら、アルミホイルでしっかりフタをします



3-4. 湯温はどんどん低下していきますので、なるべく素早く混ぜます（必ずよく混ぜる）



3-5. 隙間があると、湯が蒸発し温度が80℃に達しないので注意します



3-6. 80℃設定で16時間加温します。加温時間±30分以内を守ります



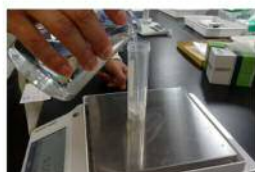
3-7. 16時間経過後にも再びよく混ぜます。室温に冷めるまで放置します



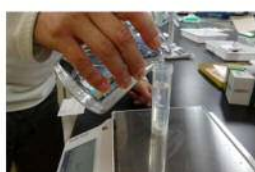
3-8. 冷却後にアルミ箔を外して総重量を測定し、3-1の重量を差し引いて抽出量を求めます

※遠沈管の目盛りは正確なの？

遠沈管に印刷されている目盛りが正確かどうか、事前に確かめておきましょう。



1. 遠沈管に水を50.00g注ぎ、目盛り線を確認します



2. 別の遠沈管も確認します。一般的に同じロットであれば、ズレの程度は同じです

遠沈管で希釈も行う場合は40mLの目盛りも確認しておきます。

数本確認して、プリントされている目盛りがずれているようであれば、印をつけるなどが必要です。

カタログでは「目盛りはあくまでも目安です」という商品もあれば、「正確な目盛り」を特徴にしている商品もあります。

なお、三角フラスコの目盛りは正確ではありません

②パックテスト色判定作業

パックテストチューブ内の液は時間とともに色が変化していきます。
パックテストの色判定を行う際は、時間を正確に守らなければなりません。

詳しい使用方法は、株式会社共立理化学研究所のHPをご覧ください
<https://kyoritsu-lab.co.jp/seihin/list/packtest/>

1)ひとりで判定



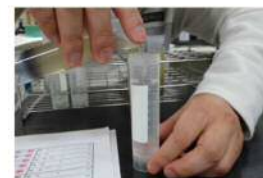
4-0. まず、よく手を洗います。手の汚れは判定に影響します



4-1. 抽出液の希釈
遠沈管を使って5倍希釈
します(抽出液10mL＋
水40mL)



4-2. あらかじめ確認し
た40mLの目盛りまで、
スポイト等を使って水
を入れます



4-3. 次に、室温まで冷
ました抽出液を50mLの
線まで入れます



4-4. これで抽出液が5
倍に希釈できました
(合計50mL中に、抽出
液が10mL)



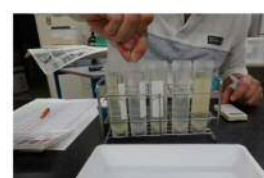
4-5. 希釈した後は、漏
れないようにふたをして
よく混ぜます



4-6. パックテストの測定時間は、検水の液温で
変わります。25°Cだと4分30秒後に判定します。
30秒ごとに1サンプルとすれば8点くらい連続測
定可能です。事前に時間設定を計算して計画を
立てます



4-7. あらかじめ、測定
する本数分のパックテ
ストのラインは抜いてお
きます



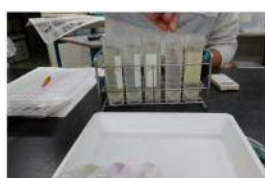
4-8. ここでは4サンプル
測定の例で示します。
一つ目は水です(水は毎
回必ず測定します)



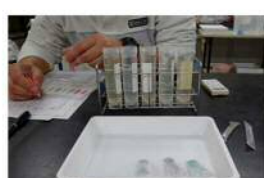
4-9. 検水を半分くらい吸
い込んで5～6回振り混
ぜます



4-10. 可能であれば、途
中でも1～2回振り混ぜ
ます



4-11. 比色は屋光で行い
ます。直射日光や光源の
種類によっては判別しに
くくなります



4-12. 時間がきたら、速
やかに判定します。版の
色と色の間の場合は、中
間の値にします



4-13. あらかじめ準備し
ておいた用紙に記帳して
いきます



4-14. 水(0)と比べること
で、低濃度の判断も楽に
なります。何回も経験す
ると楽に判定できるよう
になります

2) みんなで判定



5-0. パックテストの吸入者と判定者(1人あるいは2人)色判定が慣れないうちは複数人で確認しながら判定するとよいでしょう



5-1. 抽出液の希釈
三角フラスコで抽出した場合を想定しています



5-2. 室温まで静置冷却させた抽出液は、濁らないようゆっくりと上澄み液を吸い取ります



5-3. 抽出液3mLに水を12mL加えて合計15mLにします(24mL容の軟膏壺を使うと便利です)



5-4. 抽出液が3mLの時は水を12mL、4mLの時は水を16mL入れます。(5倍に希釈します)



5-5. 必要な本数のパックテストを準備し、真ん中に番号を書いておきます(吸い取り口には書かない)



5-6. 最初に全試料分を準備しておく、間違いにくいです



5-7. あらかじめ必要本数のパックテストのラインを抜いておきます



5-8. ラインは、ピンセットを使うと汚れずに、指も痛くなりません



5-9. 1本目は水です。吸入と同時にストップウォッチを押し、その後は30秒ごとに吸入し、振り混ぜて判定者に渡します



5-10. 判定者も1本目の吸入と同時にストップウォッチを押し、判定時間まで待ちます



5-11. 間違わないようにします。途中で番号がずれないように注意します



5-12. 判定者はパックテストを順番に並べて、時間になったら瞬時に判定します



5-13. 判定者はあらかじめ判定シートを準備し、時間を間違わないように工夫します



5-14. 常に、1番目の水を吸入させたパックテストを近くに置いて比較しながら判定します

※パックテストCODの色判定シートは、「鹿児島県農業開発総合センター」のHPからダウンロードが可能です。

<https://www.pref.kagoshima.jp/ag11/pop-tech/zenbu/1290.html>

※抽出液のにごり

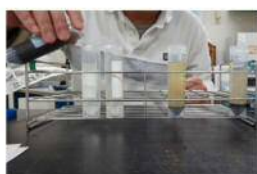
可給態窒素簡易測定法である「80℃16時間水抽出法」は、抽出液をCODパケットで簡易判定する方法、TOC計で有機態炭素(TOC)を測定する方法、窒素を測定する方法のいずれかの測定法で得られた値から可給態窒素を推定します。

測定の手順で、冷却後の抽出液に塩(硫酸カリウムや塩化カリウム)を加えて濾過する工程があります。TOC計など分析機器を使う場合には土壌粒子除去のため加塩ー濾過が必要です。

また、窒素を測定する方法では、土壌に吸着しているアンモニア態窒素を抽出するため、加塩ー濾過の工程が必要です。

一方、パケットで簡易判定する場合、濁りが気にならなければ必ずしも加塩ー濾過の工程は必要ではありません。

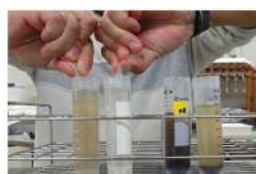
なお、6章-3の分光光度計で測定する場合は、濁りを除去しなければいけません。



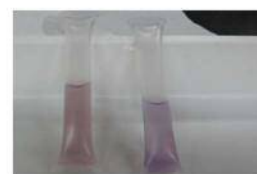
1. 攪拌して土壌が沈殿していない状態の懸濁液を5倍希釈してみます



2. 5倍に薄めるので、濁り程度は弱まりますが、やはり濁っています(右は1時間程度放置して沈殿させたもの)



3. 両方の希釈液を同時にパケットに吸入してみます



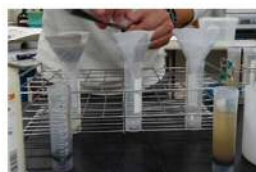
4. 左側は茶色に着色していて色判定が難しいようです



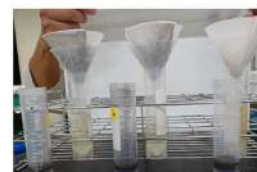
5. 濁りをとるために塩(ここでは塩化カリウム)を加えます。0.3g程度でいいでしょう



6. 塩を加えたらフタをしてよく混ぜます。混ぜたらすぐに濾過します



7. 懸濁液の沈殿を待ってから濾過しても、透明度は改善されません



8. ちなみに、塩を加えずに濾過しても、濁りはなかなかとれません

※補助カップをつかう場合

パケットは、チューブの半分まで液を吸い込みます。吸い込む検水の量が多すぎると高めに(反応する有機物が多いため)、少なすぎると低めの測定値になります。専用カップも販売されていますので、苦手な方はそれを使うとよいでしょう。



1. 10個入りでの販売です(型式WAK-CC10)吸引するのに慣れたら必要なくなります



2. 1.5mLに目盛り線がついています



3. その線までスポイト等で正確に入れます



4. カップの検水を全てパケットで吸いとって測定します

必要な器具等

価格はR1.5.1現在のカタログ価格(税抜き)です

パケットテスト 株式会社 共立理化学研究所

型番	測定項目	本数
WAK-COD-2	COD(化学的酸素要求量)	50
WAK-COD(D)-2	COD(化学的酸素要求量・低濃度)	
KR-COD-2	COD(化学的酸素要求量)	150
KR-COD(D)-2	COD(化学的酸素要求量・低濃度)	

※有効期限は約1年程度で、劣化すると発色が悪くなります。5本ずつラミネート包装されています。保存袋が同封されていて、残ったチューブは保存可能ですが劣化しやすいので、できるだけ使い切るようにします



WAK(50本入り4,600円程度)



KR(150本入り11,000円程度)

注)測定濃度域の異なる商品が複数あります
CODあるいはCOD(低濃度)を使います

吸光度測定用(6章-3参照)

水質測定用試薬セット
LR-COD-B-2(30回分 4,600円程度)



遠沈管

※複数のメーカーから販売されていますが、自立型が作業しやすく、目盛りが見やすいです
滅菌されている必要はありません



ECK-50ML (γ線滅菌済)
(20本/袋×5袋で5,400円程度)



901015-1 (γ線滅菌済)
(20本/袋×4袋で5,900円程度)



C571-1 緑(γ線滅菌済)25個/袋×20袋で27,000円程度
C571-2 黄(非滅菌) 100本/袋×5袋で22,000円程度

あると便利な器具等

軟膏壺

※数点程度の測定であれば、遠沈管で希釈して、直接チューブに吸い込めばよいが、複数の試料を連続で測定するときは、この容器で希釈して、吸い込むと作業が楽です



3-53青クリア (容量24mL)
(100個入りで2,910円程度)

アルミホイルディスペンサー — パケットテストの吸入補助

※三角フラスコで抽出する際のフタにアルミホイルをつかうとき、便利です



5型 50mm×50m 450円程度
AF-50 ディスペンサー 3,700円程度



WAK-CC10(10個入り600円程度)

※チューブに半分くらいを目安に液を吸い込んで反応させますが、うまくできないときは1.5ml正確に吸い込むための補助部品(WAK-CC10)も販売されています

6-3 分光光度計を活用した可給態窒素簡易判定法の数値化

【分析法の概要】

80℃16時間水抽出により抽出された有機物を COD 測定用の試薬セットで反応させ、分光光度計を活用して比色定量し、回帰式により可給態窒素を推定、数値化します。

分析操作 1 サイクル (2~3 時間程度) で 50~100 点の試料が分析でき、試薬セット 1 箱で 150 点程度の試料が分析できます。

分析条件は、①反応液量は合計 5mL、② R-1 試薬の添加により発色開始、③発色開始からの反応時間は 30 分間、④分光光度計の測定波長は 525 nm、⑤グルコースを用いた検量線は終濃度 0~8 mgO/L の範囲内で作成、⑥一連の分析操作は 25℃ 程度の条件下にて実施、として設定しています。

【測定に必要なもの】

水質測定用試薬セット No.44 COD (型式: LR-COD-B-2, (株) 共立理化学研究所製) の R-1 試薬および R-2 試薬, 蒸留水, グルコース, 電子天びん, 試験管 (5mL の液を確実に混合できるもの, 15mL 容など), 分注器 (0.1mL, 0.2mL, 5mL が分取できるもの), 試験管ミキサー, タイマー, 分光光度計



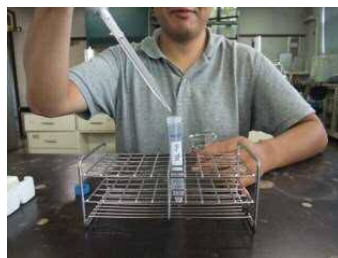
【測定手順】

1) グルコースを用いた検量線の作成

グルコースの COD の理論値 (1 mg/L = 1.0657 mgO/L) を用いて、終濃度で 0~8 mgO/L の範囲で検量線を作成します。



1)-1. 10,000mg/L グルコース溶液を調製する
(例: グルコース 0.1g を蒸留水 10mL に溶解)

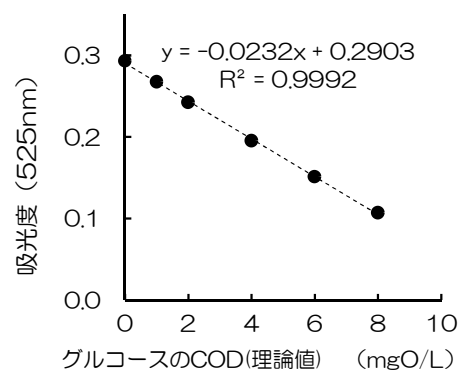


1)-2. 理論値から 50mgO/L グルコース溶液
となるよう希釈する
(例: 10,000mg/L のグルコース溶液に
0.1mL に 蒸留水を 21.215mL 加える)



6章 可給態窒素簡易測定法に関する参考資料

終濃度 (mgO/L)	0	1	2	4	6	8
50mgO/L グルコース溶液	0	0.1	0.2	0.4	0.6	0.8
蒸留水	4.7	4.6	4.5	4.3	4.1	3.9
R-2 試薬	0.2	→	→	→	→	→
R-1 試薬	0.1	→	→	→	→	→
合計 (mL)	5.0	→	→	→	→	→



1)-3. 50 mgO/L グルコース溶液を用いて、終濃度で 0~8mgO/L の検量線を作成する（上図は分析例）

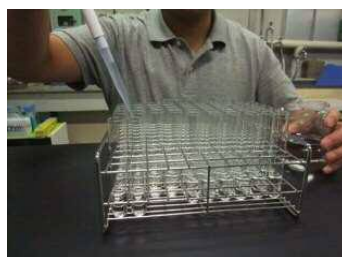
2) 分析操作



2)-1. 試験管に蒸留水、80℃16 時間水抽出液をあわせて 4.7mL となるよう分取する

（蒸留水：4.5~4.6mL，抽出液：0.1~0.2mL）

検量線は蒸留水、50mgO/L グルコース溶液を分取する



2)-2. すべての試験管に R-2 試薬 0.2mL を加え、試験管ミキサーで攪拌する



2)-3. タイマーを用意し、R-1 試薬 0.1 mL を加えると同時にタイマーをスタート、すぐに試験管ミキサーで攪拌する

R-1 試薬の添加・攪拌を一定の間隔で繰り返す

※ R-1 試薬を添加する間隔により、分析操作 1 サイクルでの分析点数（検量線を含む）が変わる

15 秒間隔 → 約 100 点

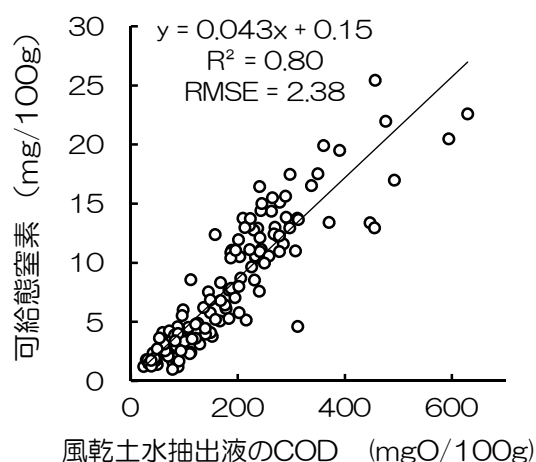
20 秒間隔 → 約 75 点

30 秒間隔 → 約 50 点



2)-4. R-1 試薬添加から正確に 30 分後、分光光度計で 525nm の吸光度を測定する（写真：吸光度測定直前の検量線の見た目）

R-1 試薬添加と同一の間隔で吸光度測定を繰り返す



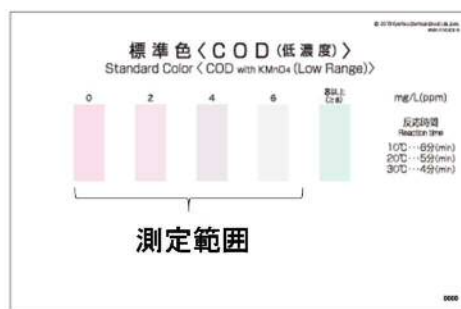
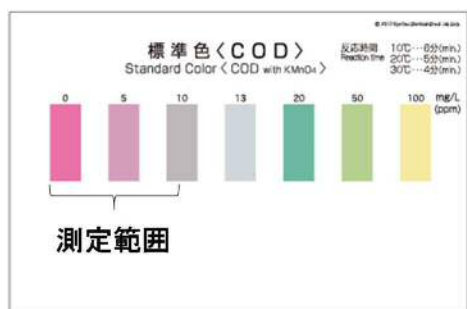
2)-5. 検量線から試料のCOD値を求め、以下の推定式から可給態窒素を求める

$$\begin{aligned} \text{可給態窒素 (mg/100g)} \\ = 0.043 \times \text{COD 値 (mgO/100g)} + 0.15 \end{aligned}$$

3) 注意事項

3)-1 CODの反応は温度、反応時間に大きく影響を受けることから、分析時の反応温度、時間は順守する必要があります。

3)-2 抽出液の希釈について



左；パックテストCOD

右；パックテストCOD低濃度

※分光光度計による測定の場合、赤色の退色で測定します
5倍希釈液での判定で、可給態窒素0~3mg/100g程度に該当します
想定される可給態窒素レベルに応じて、希釈率を調整しましょう

想定される可給態窒素の測定範囲(mg/100g)	5~30	3~15	1~6	0~3
蒸留水 (mL)	4.6	4.5	4.2	3.7
抽出液 (mL)	0.1	0.2	0.5	1.0
R-2試薬 (mL)	0.2	0.2	0.2	0.2
R-1試薬 (mL)	0.1	0.1	0.1	0.1
合計 (mL)	5.0	5.0	5.0	5.0
希釈率	50倍	25倍	10倍	5倍
※備考(対象)	施設土壌や有機物施用が多い畑		一般的な露地畑	

7章 おわりに

肥料原料高騰を機に土壤診断を活用した施肥が定着するようになってきました。特に、リン酸、カリについては、全国で土壤診断結果に基づく減肥指針が活用され、肥料費の削減につながっています。

一方、窒素成分については、土壤診断項目に可給態窒素がなかったため、地域の栽培指針や過去の生育等を参考に施肥量を調節しているのが現状でした。

プロジェクト研究開始時には、野菜の可給態窒素レベルに応じた全国指針の作成を目標にしましたが、栽培環境の違いが大きく影響するため統一指針の作成は困難で、地域ごとの実情に合った基準づくりが望ましいという結論になりました。

本手引き書を活用して、地域ごとに窒素施肥基準を作成していただくことによって、可給態窒素レベルの高い圃場では減肥による肥料費の削減が可能になり、可給態窒素レベルの低い圃場では有機物等の施用による可給態窒素レベルを高めながら、適量を増肥することによって、目標収量の確保につながることを期待できます。

また、可給態窒素レベルに応じた土壤からの窒素無機化量の推定については、より精密な予測ができるよう、さらなる研究の発展が必要です。

最終的には、窒素、リン酸、カリ三要素の全てについて、土壤診断結果に基づいた施肥が可能になりますが、施肥法や肥料銘柄への対応など、問題も残されています。

今後、これらの問題を解決することによって施肥の適正化が図られ、より収益性が向上することを期待します。

なお、本プロジェクト研究に参画した県では、得られた成果を下記の通り成果情報としてとりまとめています。一部は県のHP等を通じて閲覧可能ですので、参考にしてください。

県名	成果情報名	(発表年月)
岩手県	土壤の可給態窒素に基づく雨よけトマトの窒素減肥技術	(2020年2月)
茨城県	冬どりハクサイにおける土壤診断に基づく窒素適正施肥法	(2020年3月)
//	栽培期間中の窒素無機化量の推定による適正施肥指針の作成	(2020年3月)
長野県	土壤の可給態窒素を考慮したはくさいの窒素適正施肥技術	(2020年3月)
愛知県	簡易測定法による可給態窒素に基づいた秋冬キャベツおよびスイートコーンの施肥窒素指針	(2019年11月)
鹿児島県	秋冬作露地野菜の可給態窒素レベルに応じた窒素施肥量の簡易算出法	(2020年3月)
//	露地野菜を主体とする農業法人の土壤化学性の実態と可給態窒素診断の必要性	(2019年3月)
//	土壤の可給態窒素診断結果に基づく青果用キャベツの窒素施肥量	(2019年3月)
//	露地野菜畑における土壤の可給態窒素レベルに応じた窒素施肥診断について	(2019年3月)
(岐阜県)	水田及び畑土壤の可給態窒素が簡易迅速に評価できる	(2018年3月)

本手引書は、農林水産省委託プロジェクト研究「生産コストの削減に向けた効率的かつ効果的な施肥技術の開発」（2015～2019）の成果の一部を利用し、適正施肥技術コンソーシアム小課題3「野菜作における土壌可給態窒素の簡易測定に基づく適正施肥技術の開発」研究グループの責任において作成したものです。

プロジェクトリーダー・編集責任

農研機構中央農業研究センター 大谷 卓

編集代表・執筆

鹿児島県農業開発総合センター 上蘭 一郎

編集・執筆

岩手県農業研究センター 高橋 良学

茨城県農業総合センター園芸研究所 假屋 哲朗

長野県野菜花き試験場 矢口 直輝

愛知県農業総合試験場 日置 雅之

岐阜県農業技術センター(執筆協力) 和田 巽

本手引書は、以下のサイトからPDFのダウンロードが可能です。併せてご参照ください。

http://www.naro.affrc.go.jp/publicity_report/publication/pamphlet/tech-pamph/134396.html

なお、本手引書の情報の掲載には十分な注意を払っておりますが、本手引書を利用することによって生じるいかなる損害等について、理由の如何に関わらず、農研機構および上記機関は一切の責任を負いません。



本手引書に掲載されている情報へのご指摘、ご意見等、あるいは、本手引書の複製・転載のご希望がありましたら、下記連絡先までご連絡いただきますようお願いいたします。

本手引書に関するお問合せ先

国立研究開発法人 農業・食品産業技術総合研究機構
中央農業研究センター
〒305-8666 茨城県つくば市観音台2-1-18
電話：029-838-8481（代）
電子メール：koho-carc@ml.affrc.go.jp

野菜作における可給態窒素レベルに応じた窒素施肥指針作成のための手引き
(2020年3月)



発行 国立研究開発法人 農業・食品産業技術総合研究機構
中央農業研究センター
〒305-8666 茨城県つくば市観音台 2-1-18
電話：029-838-8481（代表）