

II 施肥の基本と考え方

1 施肥の考え方

施肥の目的は、作物が適正に生育し高品質で十分な収量を得られるように、作物の生育時期ごとに必要な養分を供給することである。

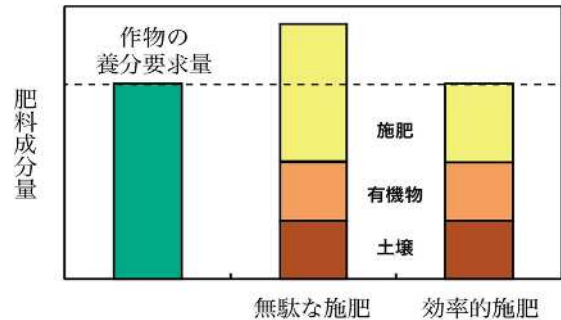
作物の養分供給源としては、肥料だけでなく、土壌に蓄積した養分や家畜ふん堆肥等の有機質資材がある(図II-1)。肥料コストの削減のため、また、地下水、河川等の水質汚濁、地球温暖化等の環境への負荷を招かないためにも、土壌や有機物からもたらされる養分を考慮したうえで、作物の養分要求量に見合う施肥を行うことが求められる。

一般的に、養分が不足した状態では、施肥量を増加させるにつれて収量が増加する。しかし、やがて施肥量を増やし続けても収量が増加せず停滞する最高収量域に達し、さらに施肥量を増やすと養分過剰により減収する(図II-2)。無駄な施肥を防ぎ、施肥コストを低減させるためには、施肥量を、最高収量を得るために必要な最小量に設定することが望ましい。

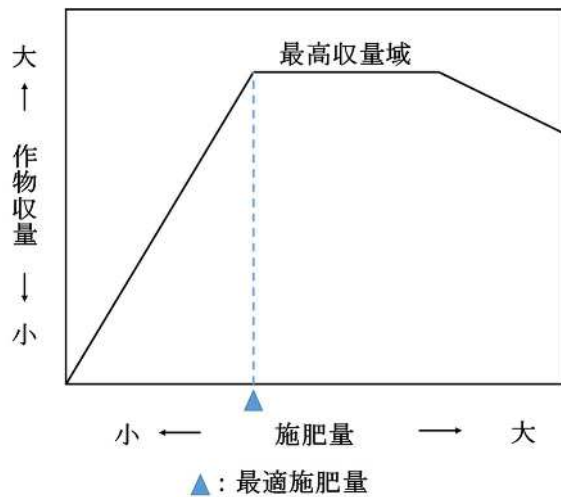
新品種の導入や施設栽培での炭酸ガス施用等新技術への取組により目標収量を高くする場合は、新たな養分要求量に見合う施肥量を設定する必要があるが、過剰施肥にならないように注意する。

牛ふん堆肥を施用するキャベツ・スイートコーンの年2作体系の露地野菜畑での試験では、図II-3のように、窒素投入量を施肥基準量(キャベツ30kg/10a、スイートコーン25kg/10a)より増加させると作物体の窒素吸収量は増加したが、窒素吸収量の増加の程度は投入量増加分の8%程度であり、9割以上は吸収されないことが明らかとなった。

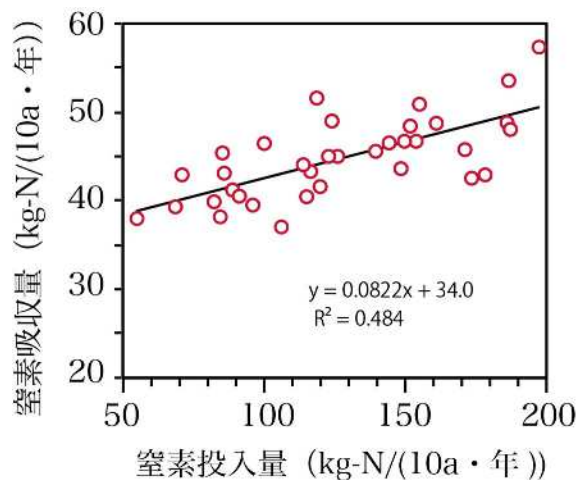
したがって、肥料コストと収量増のバランス及び環境への負荷を考慮し、過剰施肥を行わないことが重要である。



図II-1 施肥の考え方



図II-2 施肥量と収量の関係
(藤原、1986を一部改変)



図II-3 露地野菜における窒素投入量と収量の関係

2 土壌中の肥料成分を考慮した減肥指針

施肥基準は、土壌診断基準値が適正範囲内にある場合の施肥量を示している。したがって、肥料成分が蓄積したほ場では、施肥基準より肥料の施肥量を減らすことができる。土壌に蓄積した肥料成分の有効利用は、環境負荷低減やコスト削減につながるため、土壌診断を実施したうえで施肥量を決定することが重要である。通常、土壌診断のための土壌採取は、土壌改良資材施用前に行う。

(1) 窒素

ア 水田

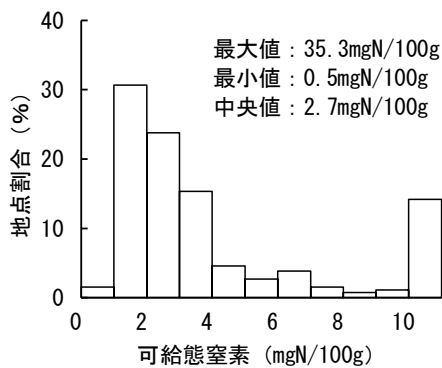
水稲は、その窒素吸収量の60～70%を地力窒素（土壌有機物の分解に伴い発現する無機態窒素量）に依存している。このため、地力窒素を把握して適正な施肥を行うことは、水稲の生産性向上につながる。栽培期間中の土壌窒素無機化量は、培養窒素量（湿土を30℃・4週間培養して発現するアンモニア態窒素量）及び全窒素含量の分析値から推定できる（林ら、2012）。一般的な土壌診断は基肥施用直前に行うことが望ましいが、水稲栽培における土壌窒素無機化量評価のための土壌採取は分析に要する時間を考慮して基肥施用2か月前までに行う。愛知県の施肥基準は、地力中庸水田（培養窒素3～4mg/100g、全窒素0.13%）における窒素施肥量を品種ごとに示している。このため、分析結果により窒素施肥量を加減する。

イ 畑

畑では、作付前の土壌中の無機態窒素量（硝酸態窒素・アンモニア態窒素）及び可給態窒素量を測定できる場合は、その量を基肥施肥量から減らすことができる。例えば硝酸態窒素量が5mg/100gの場合、作土10cmに肥料として効く窒素分が5kg/10aあると読み替えることができる。そのため、土壌中に残っている窒素量を基肥施肥量から減らすことが可能である。ただし、硝酸態窒素は水に溶けやすく土壌に吸着されにくいいため、降雨の影響で流亡する可能性があることから、施肥になるべく近い時期に測定する。土壌中の硝酸態窒素量は、試験紙や小型反射式光度計（商品名：RQフレックス）等を用いて簡易に測定できる。また、土壌中の可給態窒素量は、従来法では30℃・4週間培養して発現する無機態窒素量で評価してきたが、80℃・16時間水抽出による簡易に評価できる手法が開発された。

ア)「80℃・16時間水抽出法」を活用した施肥窒素指針の作成（秋冬キャベツ、スイートコーンの事例）

愛知県の露地畑土壌は、概して腐植が少なく、土壌窒素肥沃度が低いほ場が大半を占める。しかし一方で、化学肥料の減肥が必要になるほど土壌窒素肥沃度が高いほ場も一部に見られる（図Ⅱ-4）。そのため、作物の安定生産のためには、ほ場ごとに土壌窒素肥沃度に応じた施肥窒素量の診断が必要となる。土壌窒素肥沃度の指標である可給態窒素は分析が煩雑で、これまで畑作物の施肥指導には活用されてこなかったが、近年生産現場でも簡易に測定できる方法（80℃・16時間水抽出法）が開発され（図Ⅱ-5）、可給態窒素レベルに応じた施肥指針の作成が可能となった。そこで、秋冬キャベツ及びスイートコーンを対象に施肥窒素指針の作成を試みた（日置ら、2019、2020、2020）。



図Ⅱ-4 愛知県の秋冬キャベツ栽培ほ場 ($n=261$) における可給態窒素 ($80^{\circ}\text{C} \cdot 16$ 時間水抽出法による測定) の分布割合 (日置ら、2020)



図Ⅱ-5 $80^{\circ}\text{C}16$ 時間水抽出法に用いる器具

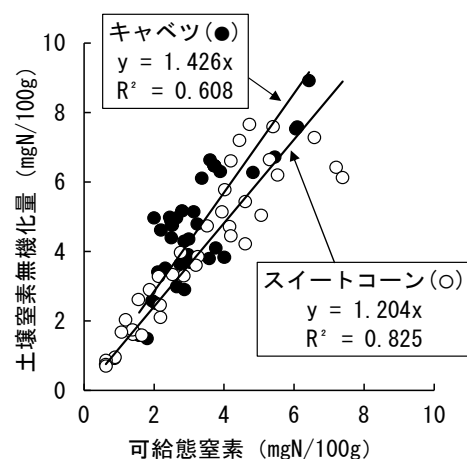
試験場内の堆肥及び肥料施用試験区や現地生産ほ場で採取した土壌について、 $80^{\circ}\text{C} \cdot 16$ 時間水抽出法で得られた可給態窒素により 2 つの作物の栽培期間中の土壌からの窒素無機化量を推定した (図Ⅱ-6)。

さらに、各ほ場の作物体窒素吸収量、土壌窒素無機化量、施肥窒素量及び堆肥窒素量を求め、重回帰分析を用いることで、土壌、化学肥料及び堆肥由来の窒素利用率を算出し、可給態窒素レベルに応じた施肥窒素指針を作成した (表Ⅱ-1)。

この重回帰分析を用いた由来別窒素利用率の算出手法は、生産現場のデータを幅広く収集するのみで、特殊な分析も不要であるため、産地単位でも取り組みやすく、他作物での作成も期待できる。

この施肥窒素指針の詳しい作成方法は、『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』として、農研機構の HP (https://www.naro.go.jp/publicity_report/publication/files/carc_chissosehishishin20200331.pdf) から PDF 版がダウンロードできる。

愛知県の畑地土壌において、分光光度計により有機物量を測定する改良法を用いることで、さらに簡易かつ迅速により多くの試料を分析することができる (図Ⅱ-7)。この手法の詳しい分析方法は、「愛知県の非黒ボク土露地畑における $80^{\circ}\text{C} \cdot 16$ 時間水抽出液の吸光度測定による可給態窒素含量の簡易迅速評価 (中村ら、2022)」に記載されている。



図Ⅱ-6 秋冬キャベツおよびスイートコーン栽培期間中の土壌窒素無機化量と可給態窒素 ($80^{\circ}\text{C}16$ 時間水抽出法による測定) との関係 (日置ら、2019)

表Ⅱ-1 可給態窒素レベルに応じた秋冬キャベツおよびスイートコーンの施肥窒素指針

(日置ら、2020)

可給態窒素の判定に用いるCOD簡易測定キットの色見本	可給態窒素 (mgN/100g)	施肥窒素量 (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	
と の間	1	31	33	34	33	堆肥等を施用して地力を高めましょう
	2	25	30	31	32	
	3	19	27	28	30	地力が高いため減肥しましょう
	4	12	24	25	29	

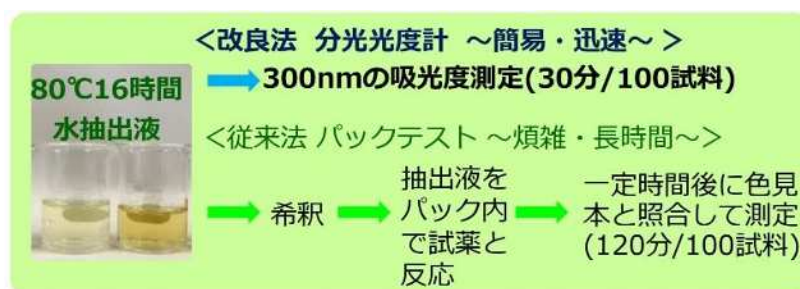
目標収量 (t/10a) : スイートコーン 1.6、キャベツ 5.5

作土深: 20 cm、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 0.09、豚ふん堆肥 0.22)



図Ⅱ-7 分光光度計による改良法

(2) リン酸

県内土壌の可給態リン酸含量は、品目にかかわらず、土壌診断基準値の適正範囲を超える地点が多くみられる(図Ⅱ-8)。適正範囲より多い場合には、リン酸の配合割合を減らした肥料を利用するなど、リン酸減肥を行うことが、コスト削減、環境負荷低減につながる。

ア 水田

農林水産省委託プロジェクト研究成果マニュアル(2014)では、水稻栽培において可給態リン酸含量が低下しないために必要なリン酸施肥量は、3~6kg/10a(リン酸吸収係数700以下の土壌)と示されている。水稻の施肥基準では、もみ収奪分(リン酸4~5kg/10a)を補給することとしているため、施肥基準量を施肥すれば、可給態リン酸含量が低下しないと考えられる。可給態リン酸が蓄積しているほ場では、リン酸施肥量が削減できるため、可給態リン酸含量が15mg/100gより多い場合には、表Ⅱ-2を目安にリン酸施肥量を減らす。ただし、定期的に土壌診断を実施して土壌の可給態リン酸含量を確認し、施肥量を見直す。

イ 畑

水稻以外はリン酸要求量の多い作目もあるため、表Ⅱ-3を目安に、土壌の可給態リン酸含量に応じて減肥する。

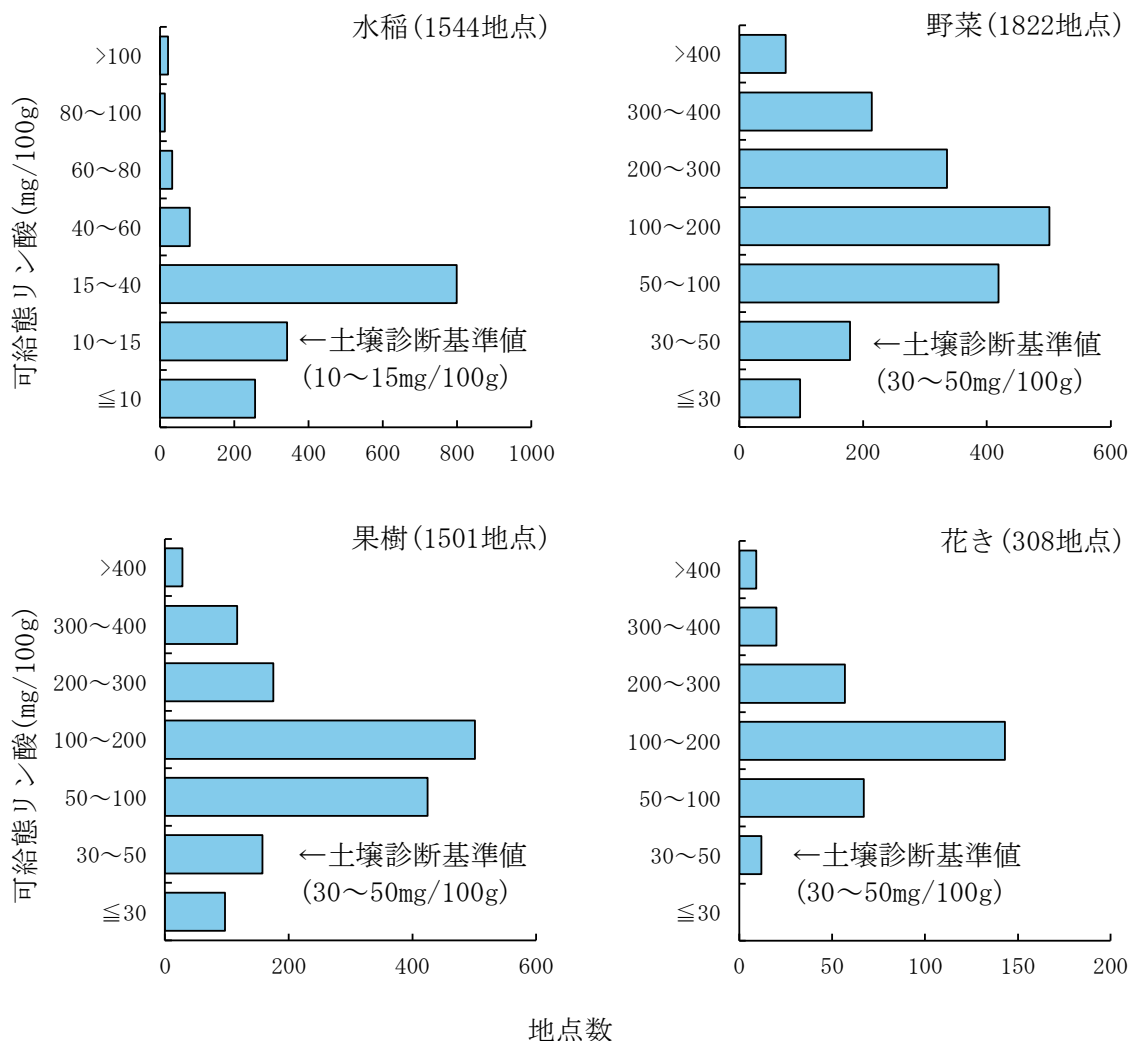


図 II-8 県内土壌の可給態リン酸含量の頻度分布
(県内土壌診断機関より提供、2024 年度分析結果)

表 II-2 土壌の可給態リン酸含量に基づくリン酸施肥量の目安 (水稲)

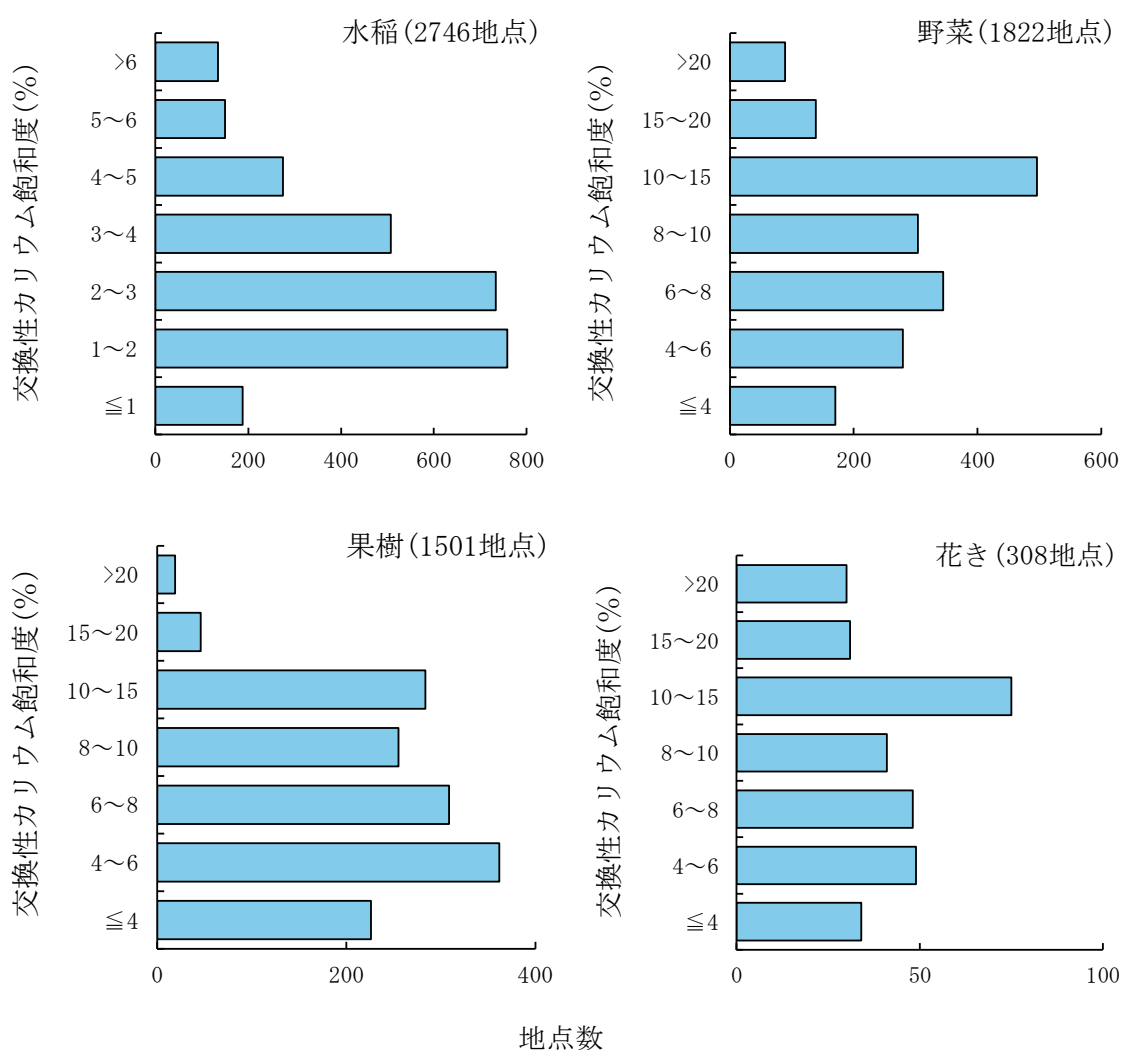
可給態リン酸含量 (mg/100g)	リン酸施肥量
10 未満	10mg/100g を満たす量 + 施肥基準量
10 - 15	施肥基準量
15 - 40	施肥基準量の 1/2
40 以上	無施肥

表 II-3 土壌の可給態リン酸含量に基づくリン酸施肥量の目安 (水稲以外)

可給態リン酸含量 (mg/100g)	リン酸施肥量
100 未満	施肥基準量
100 - 200	施肥基準量の 1/2
200 以上	無施肥

(3) カリウム

県内土壌の交換性カリウム飽和度は、土壌診断基準値の適正範囲内の地点が3割程度で、適正範囲よりも低い地点や超過している地点も同程度みられる(図Ⅱ-9)。適正範囲よりも低い場合は、土壌診断基準値の下限値になるように増肥し、適正範囲より多い場合には、カリウムの配合割合を減らした肥料を利用する等の減肥を行う。また、塩基が総量として十分確保されていても、塩基間のバランスが失われると欠乏症が起こるおそれがある。このため、カリウムの施肥にあたってはカルシウムやマグネシウムとのバランスを考慮する。特に、家畜ふん堆肥にはカリウムが含まれるため、肥料を施肥する場合は家畜ふん堆肥から供給される量を考慮する。



図Ⅱ-9 県内土壌の交換性カリウム飽和度の頻度分布

(県内土壌診断機関より提供、水稲は2015年度分析、他は2024年度分析結果)

* カリウム飽和度の土壌診断基準値はCECによって変わるため明記していない

ア 水田

水稲ではナトリウムの代替吸収が生じるのはカリウムの潜在的な欠乏と考えられるため、ナトリウムの代替吸収が生じないようにする必要がある。農林水産省委託プロジェクト研究成果マニュアル（2014）では、土壌中の交換性カリウムと施肥したカリウムを合わせたカリウム飽和度が4%を下回ると水稲茎葉中のナトリウム濃度が直線的に高まる現象が示されている。そのため、表Ⅱ-4を目安に、カリウム飽和度が4%以上の場合はカリウムを無施肥とし、カリウム飽和度が4%を下回る場合、4%を目標に施肥量を加減する。ただし、定期的に土壌診断を実施して、土壌のカリウム飽和度を確認し、施肥量を見直す。ただし、水稲のカリ適正施用指針（2021）における減肥指針を参考に、カリウムを無施肥とする場合、稲わらの全量還元を前提とし、粗粒質でCECが12me/100g土壌以下の土壌は減肥の対象外とする。

イ 畑

水稲以外では、表Ⅱ-5を目安に、土壌診断基準値と比較して施肥量を加減する。

表Ⅱ-4 土壌のカリウム飽和度に基づくカリウム施肥量の目安（水稲）

カリウム飽和度	カリウム施肥量 (kg/10a)
4%以上	無施肥
4%未満	施肥量 = {CEC (me/100g) × 47.1 × 0.04 - カリウム含量 (mg/100g)} × 作土深 (cm) ÷ 10 ただし、計算値が標準施肥量(4kg/10a)よりも多くなった場合は標準施肥量とする。

注) カリウム飽和度からカリウム含量への換算式

$$\text{CEC (me/100g)} \times \text{カリウム飽和度 (\%)} \div 100 \div 0.0212 = \text{カリウム含量 (mg/100g)}$$

注) 稲わらの全量還元を前提とし、粗粒質でCECが12me/100g以下の土壌は減肥の対象外とする

表Ⅱ-5 土壌のカリウム飽和度に基づくカリウム施肥量の目安（水稲以外）

カリウム飽和度	カリウム施肥量 (kg/10a)
適正下限値以下	施肥量 = {適正下限値 (mg/100g) - 交換性カリウム含量 (mg/100g)} × 作土深 (cm) ÷ 10 + 施肥基準量 (kg/10a) 注) 飽和度 (%) から含量 (mg) に換算すること
適正範囲内	施肥基準量
適正上限値以上	施肥量 = 施肥基準量 (kg/10a) - {交換性カリウム含量 (mg/100g) - 適正上限値 (mg/100g) × 作土深 (cm) ÷ 10}

注) カリウム飽和度からカリウム含量への換算式

$$\text{CEC (me/100g)} \times \text{カリウム飽和度 (\%)} \div 100 \div 0.0212 = \text{カリウム含量 (mg/100g)}$$

(4) カルシウム（石灰）・マグネシウム（苦土）

土壌が高 pH や低 pH になると作物の養分欠乏症や過剰障害の原因となることがあり、塩基間のバランスが失われると欠乏症が起こるおそれがある。土壌の CEC に交換性塩基（石灰、苦土、カリウム等）が占める割合が塩基飽和度で、塩基飽和度は pH と関係する。そのため、土壌診断を実施し、土壌診断基準値と比較して施肥量を加減する。

表Ⅱ-6 pH を 1 上げるのに要する石灰量の目安 (kg/10a)

土の種類	石灰の種類		
	炭カル	苦土炭カル	消石灰
腐植質黒ボク土	300-400	280-380	240-320
粘質土・沖積土	180-220	170-210	140-180
砂質土(砂丘未熟土)	100-150	90-140	80-120

「土壌診断の方法と活用」から引用。

(5) ケイ酸

水稻は、ケイ酸を 10a 当たり約 100kg と大量に吸収する。このため、水稻栽培では主要な成分である。ケイ酸は葉を直立させ受光態勢を良くし、光合成能力を増加させる、根を活性化させ養分吸収を活発にする等の役割がある。水稻の土壌診断基準値は 10mg/100g 以上で、土壌診断基準値の下限より低い場合は、土壌改良資材を施用する。

(6) 鉄

水田土壌では還元状態が進むと、土壌中の硫酸イオンが還元されて硫化水素が発生する。土壌中に遊離酸化鉄含量が十分にあれば硫化鉄となり不溶化して害は出ないが、遊離酸化鉄含量が少なければ硫化水素が水稻の根を傷め秋落ちの原因となる。水稻の土壌診断基準値は 0.8% 以上であることから、土壌診断基準値の下限より低い場合は、鉄を含む土壌改良資材を施用する。

3 主要農産物の養分吸収量

作物を安定生産するためには、養分が不足しないように作物が必要とする時期に必要な量を供給することが基本となるため、栽培作物の養分吸収特性を知ることは重要である。

主要な作物の養分吸収量の事例を表Ⅱ-7 に示した。トマト、ナス等の果菜類は、作型によって収穫量が大きく変わり、吸収量も異なるので注意する。一般に、果菜類と葉菜類は根菜類に比べて吸収量が大きいいため施肥量が多い。野菜類は、水稻や小麦に比べ、カリウム、マグネシウムといった塩基吸収量が多い。特にトマト、ナス、キュウリ、ハクサイ、セルリー、フキはカリウムの吸収量が多く、不足しないように注意する。

また、小麦は多収性品種の導入により養分吸収量は多くなっている。

表Ⅱ-7 主要作物の養分吸収量（尾和、1996 及び愛知農総試）

種類	収量 (t/10a)	施肥量 (kg/10a)			収穫物吸収量 (kg/10a)			その他吸収量 (kg/10a)			吸収量合計 (kg/10a)		
		N	P ₂ O ₅	K ₂ O	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
水稲	0.5	—	—	—	6.6	4.0	2.5	5.1	2.6	16.9	11.7	6.6	19.4
小麦	0.6	24	4	4	12.3	4.0	2.4	4.7	0.9	13.7	17.0	4.9	16.2
大豆	0.4	—	—	—	22.4	5.0	7.0	2.0	0.9	6.8	24.4	5.9	13.8
トマト	15.9	—	—	—	15.6	7.8	43.9	10.0	3.5	19.3	25.6	11.4	63.2
ナス	11.0	—	—	—	17.8	6.5	26.5	11.7	3.2	23.3	29.5	9.7	49.8
キュウリ	13.8	—	—	—	16.8	9.5	34.5	9.6	7.3	21.7	26.4	16.8	56.2
スイカ	5.7	—	—	—	7.0	2.2	27.3	2.7	1.1	10.8	9.7	3.4	38.1
メロン	2.4	—	—	—	7.9	3.0	12.9	7.1	2.9	12.4	15.0	5.9	25.3
イチゴ	4.7	—	—	—	10.1	4.3	17.7	4.6	2.9	12.6	14.8	7.3	30.3
スイートコーン	1.8	32	15	27	6.6	3.2	5.1	11.9	7.4	24.2	18.5	10.6	29.2
春ダイコン	8.0	11	11	7	6.8	5.1	21.8	5.5	3.3	6.6	12.3	8.4	28.4
冬ダイコン	7.7	7	4	5	7.7	3.6	18.0	8.9	2.7	10.7	16.6	6.4	28.7
ニンジン	6.4	15	21	15	8.3	5.0	20.2	5.9	2.0	10.1	14.2	7.0	30.3
サトイモ	3.4	16	14	18	8.9	4.2	22.3	4.4	1.7	8.8	13.3	5.9	31.2
ハウレンソウ	3.5	30	19	26	18.4	5.2	27.5	—	—	—	18.4	5.2	27.5
チンゲンサイ	3.4	10	6	10	8.1	1.8	13.4	1.5	0.2	2.7	9.7	2.0	16.0
ミズナ	2.5	9	9	8	9.7	1.8	12.5	—	—	—	9.7	1.8	12.5
年内どりキャベツ	7.8	24	9	14	16.0	5.2	21.2	16.6	4.1	18.1	32.5	9.3	39.3
年明どりキャベツ	6.6	38	11	23	19.3	6.0	19.5	18.3	4.3	17.9	37.6	10.3	37.5
年内どりハクサイ	11.6	36	22	26	16.4	9.0	32.8	15.2	4.2	27.3	31.6	13.2	60.2
年明どりハクサイ	9.9	34	18	27	19.1	8.6	25.3	9.2	3.2	16.9	28.2	11.8	42.2
レタス	2.6	14	10	13	5.8	2.0	7.8	6.4	2.0	14.8	12.3	3.9	22.6
ブロッコリー	1.8	34	23	24	14.3	4.2	11.1	24.7	7.8	32.7	39.0	12.0	43.8
セルリー	7.2	39	37	30	15.8	6.4	32.1	18.5	7.2	41.8	34.3	13.6	73.9
タマネギ	9.4	26	18	23	9.0	5.7	14.1	6.9	1.6	11.2	15.9	7.4	25.3
フキ	11.8	52	48	51	10.2	5.7	43.1	19.1	5.1	22.6	29.3	10.8	65.8
キク	4.6	20	19	19	18.4	6.8	37.3	—	—	—	18.4	6.8	37.3

1)：環境保全型農業研究連絡会ニュース, No. 33 , 428-445(1996)から引用。収量原データは乾物値のため、食品成分表等の水分データから収量を換算した。

2)：施肥量は聞き取り。

参考文献

- 藤原俊六郎, 安西徹郎, 加藤哲郎. 土壌診断の方法と活用. 農文協. 東京. p 92 (1996)
- 林元樹, 東野敦, 谷俊男, 池田彰弘, 久野智香子, 杉浦直樹, 本庄弘樹. 2010年と2011年の気象が水稻の玄米外観品質に与えた影響. 愛知農総試研報. 44, 39-44(2012)
- 日置雅之, 中村嘉孝, 山本拓, 糟谷真宏, 瀧勝俊. キャベツ、スイートコーン栽培期間中の土壌窒素無機化量の簡易推定. 愛知農総試研報. 51, 83-86(2019)
- 日置雅之, 中村嘉孝, 山本拓, 大橋祥範, 糟谷真宏, 瀧勝俊. 土壌、堆肥、化学肥料由来別窒素利用率と可給態窒素に基づいた秋冬キャベツ及びスイートコーンの施肥指針. 愛知農総試研報. 52, 17-22(2020)
- 日置雅之, 都築宏明, 瀧勝俊. 愛知県内アブラナ科野菜ほ場における土壌窒素肥沃度の実態. 愛知農総試研報. 52, 117-120(2020)
- 中村嘉孝, 久野智香子, 大橋祥範, 安藤薫, 大竹敏也. 愛知県の非黒ボク土露地畑における 80°C16 時間水抽出液の吸光度測定による可給態窒素含量の簡易迅速評価. 土肥誌 93(1), 29-33 (2022)
- 農業・食品産業技術総合研究機構 中央農業研究センター水田土壌のカリ収支を踏まえた水稻のカリ適正施用指針～低地土の水田に広く適用できるカリ減肥の指針～ (2021)
- 農林水産省委託プロジェクト研究成果マニュアル. 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)
- 農林水産省委託プロジェクト研究成果マニュアル. 土壌診断、施肥法改善、土壌養分利用によるリン酸等の施用量削減に向けた技術導入の手引き. I 土壌診断評価法の改良とリン酸・カリウムの減肥指針 (2014)
- 尾和尚人. わが国の農作物の養分収支. 環境保全型農業研究連絡会ニュース. No. 33, 428-445(1996)
- 牧田尚之, 久野智香子, 武井真理, 池田彰弘, 吉川那々子. 愛知県の野菜主要産地における施肥量、生産量、養分吸収量及び土壌の化学性. 愛知農総試研報. 45, 11-19 (2013)