

V 作物栄養

1. サンプルング法と作物試料調製法

試料採取にあたっては、採取する場所、時期（生育ステージ）、回数、量、部位等を調査目的及び作物生理特性を十分に考慮して決めることが大切である。したがって、作物試料のサンプルング、調製法は、当然作物の種類によって異なる。

1. 1 共通事項

1) 乾燥

根菜類、果菜類、果実など水分および糖分が高い試料は、プラスチックシート上に細切れにして通風乾燥機で乾燥するか凍結乾燥する。通風乾燥機では2時間程度80℃で酵素を失活させた後、70℃に温度を下げる。

2) 粉砕

粉砕に用いる機材として、ジョークラッシャーやワイレー型粉砕機などの粗粉砕用、ボールミルやサイクロテックのような微粉砕用専用機その他、家庭用のコーヒーミルやミルサー（岩谷産業製）などを、試料量や目的に応じ使い分ける。

3) 保存

粉砕した試料は紙封筒に入れシール容器にまとめて保管し、秤量の前に70℃で1昼夜乾燥する。凍結乾燥した試料や糖分の多い試料はラミジップ等密封容器に入れ冷凍保存する。

1. 2 水稲

1) サンプルング法

ほ場の代表的な地点を中央に選び土壌条件変動の少ない方向に直線を引き、この直線上に代表的地点から5～20m離れた地点を両側に定め、これらの3地点から平均値に近い株を数株、地際から刈り取って採取する。なお、平均的株の選定には20株程度茎数調査を行って平均値を求める。苗については、平均的なものを適量採取する。

2) 調製法

①生育期

サンプルング後直ちに軽く水洗し（微量要素を分析する場合は脱塩水で洗浄する）、105～110℃で15分間加熱した後、約70℃で一昼夜加熱乾燥し、細切、粉砕して分析に供する。

②成熟期

サンプルが汚れている場合はその部分を水洗し、通風乾燥または風乾する。乾燥後、茎葉、もみ、玄米に分け、各種粉砕機材により粉砕する。

1. 3 畑作物

1) サンプルング法

通常、散播および条播では、1㎡ずつ3カ所、点播では、20個体以上採取する。以下個々の作物について特に注意することを記す。

①麦類：水稲に準ずる。

②とうもろこし：個体差がかなり大きいので採取株数を多くする必要がある。

③豆類：下位葉から順次落葉することがあるので無機成分の吸収量を算出する場合などはとくに取扱に慎重を要する。

④てんさい：葉数や草丈などの平均的個体を選んでも、それらの菜根が必ずしも平均的個体とは限らない場合があるため、処理区を代表する個体を選ぶのに特に注意を要する。

⑤ばれいしょ：平均的茎数のそろった平均株を選定することが肝要である。

2) 調製法

土壌などによる汚れが激しい場合は水洗いするが、汚れが少ない場合はそのまま次の作業に移る（水洗いすると、分解作業がしにくくなるとともに、乾燥にも時間を要する）。根部、茎、葉などの部位別

に分解し、約70℃で通風乾燥した後、粉碎する。採取試料が多いときは、生の全重を測定した後、ランダムに一部サンプルを抜き取り、サンプル重測定→分解→（水洗い）→乾燥→乾燥重測定、とする方法もある。

- ①麦類：水稻に準ずるが、Cuの分析についてはとくに各部位がよく混合するよう注意する。
- ②とうもろこし：ほぼ水稻に準ずるが、収穫時では、葉部と稈、雌穂に分け、別個に秤量し、別個の試料として取扱う。また、茎部とくに稈は乾燥しにくいので切断に先立ち、ナイフなどで縦に二分ないし、四分する。また、雌穂は試料が混ざりにくいため十分に粉碎する。
- ③豆類：採取後直ちに水洗し、茎、葉、葉柄、莢に分解し、乾燥作業を行う。
- ④てんさい：抜き取り後直ちに水洗し、土壌や塵埃を除去してから茎葉部は、包丁、あるいはカッター等で5～10mmに切断して乾燥する。乾燥法は、稲の生育期の乾燥法に準ずる。菜根部は、包丁、あるいは家庭用電動式スライサー等で1～2mmの厚さに細断するか、量が多い場合には、縦に二分ないし、四分して、その一部を取り前述した方法で細断する。乾燥は凍結乾燥機が望ましいが、普通の乾燥機でもよい。粉碎は茎葉、菜根とも糖分が多いため粘着性が強く、ワイヤー型粉碎機では、内壁や回転刃などに試料が付着するため、粉碎に当たってはよく風乾した試料を乾燥機より取り出し直ちにコーヒーミル型粉碎機で粉碎する。いずれにしても凍結乾燥をしないかぎり、粉碎は困難をきわめる。
- ⑤ばれいしょ：採取後直ちに洗浄し、地上部は包丁、カッター等で5～10mmぐらいに細断し、その全部または、一部を乾燥する。粉碎はワイヤー型、コーヒーミル型いずれでもよい。塊茎は縦方向に二分あるいは四分し、その全部あるいは一部を取り包丁または、スライサーなどで厚さ2～3mmぐらいの短冊型に切断し、凍結乾燥もしくは、普通の乾燥機で乾燥し、ワイヤー型もしくはコーヒーミル型粉碎機で粉碎する。

1. 4 牧草

1) サンプルング法

小規模な試験区では、試験区全部、または、中央部2～3㎡の全刈りを行う。農家は場のような大規模な場合は、周囲と極端に植生が異なる場所を避け、ほ場の対角線に沿って3～5カ所で各1～2㎡を刈り取る。硝酸態窒素を測定する場合、採取は晴天の日午前10時以後にすることが望ましく、採取後、マメ科、イネ科に選別する。

また、栽培試験ほ場での生育調査は、電子天秤を一輪車に装着させたバランスキャリーを用いると効率化を図ることができる。

2) 調製法

イネ科、マメ科に分けて必要に応じて5～10cmの長さに細断し、よく混ぜてステンレス性の金網もしくは紙袋等に入れ、60～70℃で通風乾燥し粉碎する。

1. 5 野菜

1) サンプルング法

ほ場で平均的な大きさを示す10～20株を選んで採取する。

2) 調製法

- ①葉菜類：中～大型のものは、8～10個を縦に4～8分割し、各々1分割を取る。小型のものは20個体程度取る。その後、葉をはがして広げ通風乾燥する。必要に応じて内、外葉に分けることもある。乾燥後は、ワイヤー型、コーヒーミル型粉碎機で粉碎する。
- ②根菜類：葉は葉菜類に準ずるが、根は全個体を輪切りに細断する方法と葉菜類と同様の方法をとる場合とがある。乾燥は凍結乾燥が望ましいが、普通の通風乾燥でもよい。粉碎はワイヤー型粉碎機で行う。収穫期のタマネギやアスパラガス根部など糖含量の高いものは、てんさい根部の調製法に準ずる。
- ③果菜類：果実10個を縦に4～8分割し、そのうち各々1/2～1/4を取り、凍結乾燥機または通風乾燥機を使用する。通風乾燥機の場合は果汁部分のロスが無いよう果皮を下にし乾燥する。

1. 6 果樹

1) サンプルング法

分析用の葉を採取する場合、樹冠あるいは枝上の位置、枝の種類、結実の多少によって葉成分が異なるので、注意を要する。採葉にあたっては、枝の種類、樹冠上の位置などをなるべく同一条件とし、分析誤差を少なくするために供試樹数、採葉数を多くする。一般には各供試園においてその園を代表する樹を5～10樹選び、各樹冠周囲の目通りの高さより生育中庸の新しょうの不着果枝を10～20枝選び、各枝の中央葉を1枚ずつ計100枚を1サンプルとする。ぶどうでは生育中庸の着果枝を選び、房先5～7枚目の葉を採葉する。

2) 調製法

ほ場から採取した試料は、表面に付着している農薬や汚物を除去するため、以下の手順で洗浄する（中性洗剤→2%酢酸水→水道水→純水）。水を切ってから60～70℃の通風乾燥機で乾燥した試料は粉碎機または、乳ばちで粉碎する。収穫期の果実など糖含量の高いものはてんさい根部の調製法に準ずる。

2. 作物体の無機成分分析法

2.1 作物体分析のための分解法

作物体の灰化法（分解法）は大別して乾式法と湿式法の2つの方法がある。ここでは湿式法の①硫酸－過酸化水素分解法、②硝酸－過塩素酸混合液分解法、③窒素のみを測定する場合に用いられるケルダール分解法、④ $\text{NO}_3\text{-N}$ を多量に含む試料の窒素測定に用いられるガンニング変法について記載する。

(1) 硫酸－過酸化水素分解法（N、P、塩基、微量元素）

1) 分析操作

- ①粉砕した植物体試料0.5gを100mLケルダール分解ビンに秤量し、脱塩水1mLを加え、これに濃硫酸を分注器で4mL加えよく振りまぜる。分解ビンが乾燥していない場合、試料が器壁に付着して分解が困難となるので注意する。また、乾燥していても試料が器壁に幾らか付着するので、濃硫酸でできるだけ流し込むようにする。
- ②過酸化水素を分注器で2mL加え、反応がある程度収まったらさらに過酸化水素を2mL加える。反応中には有毒ガス（亜硫酸ガス）が発生するのでドラフト内で行うこと。
- ③激しい反応が治まってから分解ヒーターにかける。高温で分解する方が良い結果が得られる。
- ④20～30分加熱後、分解液が着色している場合は冷ましてから過酸化水素を2mLずつ加える。着色がなくなるまで、過酸化水素の添加と分解を繰り返す。
- ⑤分解を終了して冷却後に少量の脱塩水を加え、内容物を100mL容メスフラスコに移す。さらに分解ビン内に少量の脱塩水を入れて洗浄し、再びメスフラスコに移す。この操作を繰り返し、分解ビンの内容物を完全にメスフラスコに移すが、その時メスフラスコ内の液量は約80mLとする。放冷後、標線まで脱塩水を加えて栓をし、内容物をよく混合する。なお、ケイ酸含量を測定する場合には、分解液をメスフラスコに移す時にろ別（No. 6のろ紙）する。

2) 溶液、試薬の作り方

- (1) 濃硫酸：特級試薬を用いる。
- (2) 過酸化水素：特級試薬を用いる。褐色ビンに保存する。

3) 補足説明

- (1) 硫酸添加後ただちに過酸化水素を加えると、試料が十分硫酸と混合しないうちに反応し、場合によっては発火し、窒素などが揮散する可能性もあるので水を加えた。また、脱塩水を多く加えすぎると反応が弱くなるので1mLとした。
- (2) 本分解液では作物体中のN、P、K、Mg、Ca、Na、Fe、Mn、Cu、Zn等の定量ができる。なお、 $\text{NO}_3\text{-N}$ を多量に含む試料は後述のガンニング変法を用いる。
- (3) ケルダール分解装置の代わりにクッキングヒーターを用いてもよい。この場合、ヒーターの直径にあった高さ10～13cm程度のステンレス製の円筒を作り、分解ビン受けとする。
- (4) カルシウムについては、高濃度の試料で測定値が低くなる¹⁾。
- (5) 着色がなくなってもしばらく加熱しないと、過酸化水素が残存している場合がある。
- (6) メスフラスコに移して定容とせずに、標線を入れたケルダールビンで分解し、そのまま脱塩水で定容とする方法もある。

4) 参考文献

- 1) 水野直治，南 松雄．“硫酸－過酸化水素による農作物中 N，K，Mg，Ca，Fe，Mn 定量のための迅速前処理法”．土肥誌．51，418-420（1980）．

(2) 硝酸－過塩素酸混合液分解法 (P、塩基、微量元素)

1) 分析操作

- ① 粉碎試料1～2gを300mL容トルビーカーに秤量し、硝酸－過塩素酸混合液を分注器で15～30mL加え、時計皿で覆ってホットプレート上に置く。
- ② 始めは弱火で加熱する。分解の初めは試料が混合液と反応して黄色のガスを発生し、激しく発泡しながら有機物の分解が行われる。発泡が治まったら温度を高めて分解を促進させる。分解を続けると液は次第に無色透明になり、やがて白煙を生じる。この状態でなお分解を続け、乾固寸前になったときに分解を終える。
- ③ 放冷後、ビーカーを覆った時計皿は熱水を吹きつけ洗浄する。洗浄液はビーカー内に流し込む。
- ④ 熱水をかけながら先端にゴム管をつけたガラス棒（ポリスマン）でビーカー内壁をこすって付着した成分を溶かし100mLメスフラスコにろ過する。さらに、ろ紙上の残査を熱水で十分に洗浄する。ろ紙上には、粗ケイ酸、ろ液には無機成分が含まれ、それぞれ分析目的によって元素定量の試料とする（粗ケイ酸を測る必要がない場合は必ずしもろ別しなくても良い）。なお、粗ケイ酸をろ別する場合にはNo. 6のろ紙を用いる。

2) 溶液、試薬の作り方

- (1) 硝酸－過塩素酸混合液： 濃硝酸：過塩素酸＝3：1（濃硝酸300mLに過塩素酸100mLを混合）

3) 補足説明

- (1) 本分解法では、窒素を測定することはできない。窒素のみを定量する場合には後述のケルダール分解法を行う。
- (2) 過塩素酸を使用する湿式灰化法は危険を伴うので、専用のドラフトを完備して行わなければならない。木造の部分は過塩素酸と反応して発火の危険が大きいため注意すること。
- (3) 硝酸が完全に蒸発したあとに有機物が残存した場合、過塩素酸との激しい反応によって爆発する危険があるので特に注意すること。
- (4) 急激に加熱すると突沸することがあるので注意すること。
- (5) 混合液は試料1g当り15mLを目安として加える。分解不十分の時は硝酸を追加する。
- (6) 分解液は皮膚をおかすので、付着したときは直ちに多量の水で洗うこと。
- (7) 試料液は保存に際して、測定元素が容器の器壁から溶出したり、器壁に吸着されることがないように留意する。
- (8) ポリスマンの先端はシリコン製が適している。
- (9) トールビーカーの代わりに容量200mL以上のケルダール分解ビンを用いて分解を行う方法もある。

(3) ケルダール分解法 (N)

1) 分析操作

- ①粉砕試料0.2～0.5gをケルダール分解ビンに秤量し、分解促進剤約3gを加えて試料とよく混和させた後、濃硫酸約10mLを注入する。分解ビンが乾燥していない場合、試料が器壁に付着して分解が困難となるので注意する。また、乾燥していても試料が器壁に幾らか付着するので分解促進剤や濃硫酸を入れるときはできるだけ流し込むようにする。
- ②分解ビン分解台にのせ、始めは低温で分解を行い、内容物が粘性を失い液状となつてからは高温にして分解を続ける。内容物が透明になつてなお30分位分解を続けて終了とする。分解中は有毒ガス（亜硫酸ガス）が発生するので、ドラフト内で分解を行うこと。
- ③冷却後に少量の脱塩水を加え、内容物を100mL容メスフラスコに移す。さらに分解ビン内に少量の脱塩水を入れて洗浄し、再びメスフラスコに移す。この操作を繰り返して、分解ビンの内容物を完全にメスフラスコに移すが、その時メスフラスコ内の液量は約80mLとする。
- ④放冷後、標線まで脱塩水を加えて栓をし、内容物をよく混合する。なお、この分解では硝酸態窒素（ $\text{NO}_3\text{-N}$ ）はアンモニア態窒素（ $\text{NH}_4\text{-N}$ ）にならないので、硝酸を多く含む試料については、サリチル硫酸で硝酸態窒素を還元した後、上記の硫酸分解を行うガンニング変法を採用すること（次項に記載）。

2) 溶液、試薬の作り方

- (1) 濃硫酸：特級試薬を用いる。
- (2) 分解促進剤：硫酸カリウム（ K_2SO_4 ）と硫酸銅（ CuSO_4 ）を重量比で9：1に粉砕混合する。

(4) 硝酸態窒素を含む場合の全窒素分解法（ガンニング変法：N）

1) はじめに

前述の(1)から(3)の分解法では硝酸態窒素を多量に含む全窒素の定量は不可能である。ここでは全窒素定量のための硫酸－過酸化水素分解法（ガンニング変法）を示す。

2) 分析操作

- ①粉砕試料0.5gをケルダール分解ビンに秤量する。
- ②サリチル硫酸5mLを分注器にて加え、試料とよく混合する。
- ③ヒーターにかけて徐々に加熱し、硝酸態窒素を還元させる。
- ④放冷後、過酸化水素を分注器で2mL加えさらに加熱し、分解液が無色透明になるまで繰り返す。
- ⑤冷却後は蒸留水を加えて100mLの定容とする。

3) 溶液、試薬の作り方

- (1) サリチル硫酸：サリチル酸10gを濃硫酸300mLに溶かす。
- (2) 過酸化水素：特級試薬を用いる。褐色ビンに保存する。

4) 補足説明

- (1) 過酸化水素を最初の加熱前に加えると窒素の回収率が低下するので、必ず加熱後に添加すること。
- (2) 初期の急激な加熱は硝酸の還元を低下させるので、徐々に加熱し、20～30分後に通常の分解温度にする。
- (3) 本法では還元剤が入っているために過酸化水素を多く要する。
- (4) 従来はチオ硫酸ナトリウムを添加したがこれを入れなくても窒素の回収率は変わらない¹⁾。

5) 参考文献

- 1) 松永俊郎ら．“硝酸態窒素を含む作物中の全窒素量のための硫酸－過酸化水素分解法”．土肥誌．60，458－460（1989）．

2. 2 窒素 (N) の定量

(1) 自動分析装置

農学分野や環境化学分野の窒素分析には、フロー方式の自動分析装置が広く用いられており、一度に多数の試料を分析することができる。自動分析装置は、空気分節式連続流れ方式と流路内で試料液が拡散する過程で試薬と混合される連続流れ方式の2つに大別される。

具体的な操作はそれぞれの装置のマニュアルを参照すること。



空気分節式連続流れ方式自動分析装置

(2) 硝酸態窒素（カタルド法）

1) はじめに

カタルドらは植物抽出液中のNO₃⁻濃度を迅速に比色定量する方法を確立した。強酸条件下で、NO₃⁻とサリチル酸が複合体を作るが、次にこれを塩基性条件下（pH12以上）におくと黄色を呈する。NH₄⁺、NO₂⁻、Cl⁻による妨害はない。本法は土壌や高濃度のNO₃⁻を含む水の測定にも使用できる。なお、野菜の硝酸態窒素はRQフレックスの利用が標準となっているので、「3.2 作物の栄養診断法（2）硝酸等の養分」も参照のこと。

2) 分析操作

①試料0.4gを100mLポリビン（ふた付）に採取する。

②水100mLを加え、振とう機で1時間振とうする。

③フラスコ・試験管等にろ過する。

④ろ液0.05～0.5mLを試験管に取る。

注）少量の液で反応させるため、試験管の壁面に付着しないようにする。

⑤5%サリチル酸－硫酸液を0.4mL加え、20分以上静置する

⑥2N NaOHを10mL加えてかくはんし、試料温度が室温に下がるまで（約20分）静置する。

⑦410nmで比色する。

検量線は1000ppm硝酸態窒素標準液を適宜希釈し、Nとして0～4ppm（発色時）の範囲で作成する。

3) 計算

試料0.4（g）、抽出液100（mL）、供試液量C（mL）、発色液量E（mL）、発色時濃度D（ppm）とすると
試料中NO₃-N（%）＝D×E／C×100／0.4×1／10000

例）作物体0.4gから100mLで抽出し、0.5mLを分析に供試、発色液量が10.9mLの場合

試料中NO₃-N（%）

$$\begin{aligned} &= D \times 10.9 \text{ (発色液量mL)} \div 0.5 \text{ (供試液量mL)} \times 100 \text{ (抽出液量mL)} \div 0.4 \text{ (試料g)} \times 1 \div 10000 \\ &= D \times 0.545 \end{aligned}$$

4) 溶液、試薬の作り方

(1) 5%サリチル酸－硫酸液：5gのサリチル酸を100mLの濃硫酸に溶解する。（冷蔵庫で2週間保存可能）

(2) 2N NaOH：水酸化ナトリウム80gを水1Lに溶解する。

(3) 1000ppm硝酸態窒素標準液：市販品

5) 補足説明

(1) 試料自身が着色している場合は、5%サリチル酸－硫酸液の代わりに濃硫酸を用いて比色を行い、これをブランク値として吸光度から差し引く。

6) 参考文献

1) 植物栄養実験法編集委員会．“植物栄養実験法”．初版，東京，博友社，1990，p.177-178.

2. 3 リン (P) の定量

作物体中のリンは一般に湿式灰化によってオルトリン酸まで分解し、その溶液について比色定量する方法が用いられる。一般的に作物体にはバナドモリブデン酸法を用い、リン含量が低いときにはアスコルビン酸還元法（モリブデンブルー法）を用いる。

(1) バナドモリブデン酸法

1) 分析操作

①試験管に分解液1～2mLを取る。

②水5～6mLを加え、最後に混合発色液3mLを加えてよく混合する。(計10mL)

注) 分解液に水を加える前に発色混合液を加えると、沈殿が生じる場合がある

③5分以上静置する。

④440nmで比色する。

検量線はリン標準液を適宜希釈して、Pとして0～35ppm（発色時）の範囲で作成する。

2) 計算

試料A (g)、分解液B (mL)、供試液量C (mL)、発色液量E (mL)、発色時濃度D (ppm) とすると

$$\text{試料P (\%)} = D \times E / C \times B / A \times 1 / 10000$$

$$\text{試料P}_{205} (\%) = \text{試料P (\%)} \times 2.2914$$

例) 作物体0.5gを分解して100mLに定容し、2mLを分析に供試、発色液量が10mLの場合

$$\text{試料P (\%)} = D \times 10 / 2 \times 100 / 0.5 \times 1 / 10000 = D \times 0.1$$

$$\text{試料P}_{205} (\%) = D \times 0.22914$$

3) 溶液、試薬の作り方

(1) メタバナジン酸アンモニウム液：特級メタバナジン酸アンモニウム (NH_4VO_3) 5.85gを沸騰した水1.25Lに溶かす。放冷後、これに特級硝酸 (HNO_3) 1.25Lを加え放冷する。

(2) モリブデン酸アンモニウム液：特級モリブデン酸アンモニウム ($(\text{NH}_4)_6\text{Mo}_7\text{O}_{24} \cdot 4\text{H}_2\text{O}$) 125gを60℃以上に加熱した水2Lに完全に溶かし放冷する（試薬が古い場合は完全には溶けないこともある）。

(3) 混合発色液：(2)液を(1)液にゆっくりと注ぎ、さらに水を0.5L加えて計5Lとする。

(4) 1000ppmP標準液（市販品）

4) 補足説明

(1) 発色は5分程度で最大となり、その後5時間は安定している。

(2) 分解液の酸性が強い時は、発色が抑制される場合があるので注意する。硫酸一過酸化水素分解液の場合、発色時の硫酸濃度は0.3N以下にする。

(3) 混合発色液は酸濃度が高いので扱いに注意する。また、結晶が析出して固まるので、分注器を使用した後は必ず水で洗っておく。

(2) アスコルビン酸還元法（モリブデンブルー法）

1) 分析操作

①試験管に分解液0.5～2mLを取る。

②水6～7.5mLを加え、最後に混合発色液2mLを加えてよく混合する。（計10mL）

③10分静置する。

④710nmで比色する。

検量線はリン標準液を適宜希釈して、Pとして0～1ppm（発色時）の範囲で作成する。

2) 計算

試料A（g）、分解液B（mL）、供試液量C（mL）、発色液量E（mL）、発色時濃度D（ppm）とすると

$$\text{試料P (\%)} = D \times E / C \times B / A \times 1 / 10000$$

$$\text{試料P}_{205} (\%) = \text{試料P (\%)} \times 2.2914$$

例) 作物体0.5gを分解して100mLに定容し、2mLを分析に供試、発色液量が10mLの場合

$$\text{試料P (\%)} = D \times 10 / 2 \times 100 / 0.5 \times 1 / 10000 = D \times 0.1$$

$$\text{試料P}_{205} (\%) = D \times 0.22914$$

3) 溶液、試薬の作り方

(1) 5N硫酸：濃硫酸694mLを水で希釈して5Lにする。

(2) モリブデン酸アンモニウム液：特級モリブデン酸アンモニウム40gを熱水に溶かして1Lとし、（必要があればろ過して）ポリ容器に保存する。（4%水溶液、6ヶ月間保存可能）

(3) 酒石酸アンチモニルカリウム液：特級酒石酸アンチモニルカリウム0.2743gを水に溶かし、100mLとする。（1mg Sb/mL、6ヶ月間保存可能）

(4) アスコルビン酸液：特級L-アスコルビン酸2.64gを水に溶かして150mLとする（0.1M溶液）。

(5) 試薬混液：各液を(1):(2):(3)=10:3:1の割合で混合し、保存しておく。

(6) 混合発色液：(5):(4)=7:3の割合で混合する。当日のみ有効

(7) 1000ppmP標準液（市販品）

4) 補足説明

(1) 本分析法は供試試料のリン含量の少ないものに適用する。含量の多いものは希釈率が高くなりすぎるため、バナドモリブデン酸法を用いる。

(2) 発色は16時間以上安定している。

2. 4 塩基の定量 (K、Na、Ca、Mg)

1) はじめに

K、Na、Ca、Mgの定量は原子吸光法で行う。

2) 分析操作

- ①試験管に分解液1～2mLを取る。
- ②ランタン溶液1mLを加える。
- ③水を7～8mL加えて10mLとし、よく混合する。
- ④測定装置の条件を設定し、測定する。
検量線は標準液を適宜希釈して作成する。

標準液の濃度 K:0～5ppm Ca:0～10ppm Mg:0～3ppm Na:0～4ppm

3) 計算

試料A (g)、分解液B (mL)、供試液量C (mL)、希釈後液量E (mL)、測定濃度D (ppm) とすると
試料中の塩基 (単体%) = $D \times E / C \times B / A \times 1 / 10000$

例) 作物体0.5gを分解して100mLに定容し、1mLを分析に供試、希釈後液量が10mLの場合
試料中の塩基 (%) = $D \times 10 / 1 \times 100 / 0.5 \times 1 / 10000 = D \times 0.2$

$$\text{試料K}_2\text{O} (\%) = D \times 0.24092$$

$$\text{試料CaO} (\%) = D \times 0.27984$$

$$\text{試料MgO} (\%) = D \times 0.33166$$

$$\text{試料Na}_2\text{O} (\%) = D \times 0.26960$$

4) 溶液、試薬の作り方

- (1) ランタン溶液 (10000ppm) : 塩化ランタン ($\text{LaCl}_3 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$) 26.8gを、水に溶かして1Lとする。
- (2) 1000ppm K、Ca、Mg、Na標準液 (市販品)

5) 補足説明

- (1) 標準液はポリエチレンビンに保存すること。特にナトリウムはガラスビンから溶出し、低濃度では影響が大きい。
- (2) 分解液中のリン酸はカルシウムと化合物を生成するため、カルシウムの原子吸光は減感干渉を受ける。これを抑制するためにランタンを添加するが、植物体の分析ではこれでも不十分な場合があり、このような場合は高温バーナーを用いる。ストロンチウムは、硝酸一過塩素酸分解液の場合は使用できるが、硫酸一過酸化水素分解液の場合は硫酸と反応して沈殿ができるため、注意する。
- (3) カルシウム濃度が高い試料 (大豆など) では、硫酸一過酸化水素分解液中でカルシウムが硫酸カルシウムを形成して溶解していないため、試料本来のカルシウム濃度より低い分析値が出る場合がある¹⁾。

6) 参考文献

- 1) 水野直治・南松雄. “硫酸一過酸化水素による農作物中 N, K, Mg, Ca, Fe, Mn 定量のための迅速前処理法”. 土肥誌. 51, 418-420 (1980) .

2. 5 微量要素の定量 (Fe、Mn、Zn、Cu)

1) はじめに

Fe、Mn、Zn、Cuの定量は原子吸光法で行う。

2) 操作

- ① 試料液は、分解液を100mLに定容したものをそのまま用い、濃度が高い時は適宜希釈する。
- ② 標準液は100mL容メスフラスコにとり分解に用いた酸を同濃度になるように加え、市販標準液 (1000 ppm) を適宜希釈して作る。
- ③ 測定装置の条件を設定したのち、標準液を用い検量線を作成する。
(標準液の濃度 Fe : 0~3ppm Mn : 0~2ppm Zn : 0~1.5ppm Cu : 0~1ppm)
- ④ 試料液について測定する。

3) 計算

試料A (g)、分解液B (mL)、濃度D (ppm) とすれば、

$$\begin{aligned} \text{試料中の微量要素 (ppm)} &= D\text{ppm} \times \frac{B\text{mL}}{A\text{g}} \\ &= D\text{ppm} \times \frac{100\text{mL}}{0.5\text{g}} = D \times 200 \end{aligned}$$

4) 溶液、試薬の作り方

- (1) 1000ppm Fe、Mn、Zn、Cu標準液 (市販品)

5) 補足説明

- (1) 採取した作物は、水洗を十分に行い、土壌などの付着物を取る。水稻の場合は、根部に近いほど、葉鞘に水酸化第二鉄、マンガンが付着していることが多いので、できるだけ除去する。
- (2) 試料は、亜鉛メッキのトタンなどに決して触れさせてはならない。
- (3) 銅製のふるいは使用しないこと。
- (4) 試料は水分補正をするか、水分を含まない試料を量り込む。

2. 6 ケイ酸 (SiO₂) の定量 (重量法)

1) はじめに

ケイ酸の定量は重量法で行う。

2) 操作

- ① 試料を硝酸－過塩素酸混合液で分解する (前述の2. 1(2))。
- ② 分解ビンの内壁をよく洗浄してろ紙No. 6でろ過し、ろ紙および沈殿を熱水でよく洗う。
- ③ ろ紙上の白色沈殿をろ紙ごとろつぼに入れ、70～80℃で乾燥する。
- ④ 乾燥後すぐにドラフト内でろ紙にエタノールをかけて湿らせ、ろ紙を燃やす。
- ⑤ 電気炉内で約5時間550℃前後で灰化し、脱水する。
- ⑥ ろつぼをデシケター中で放冷後、残渣を粗ケイ酸 (SiO₂) として秤量する。

3) 計算

$$\text{試料中SiO}_2\% = \frac{\text{秤量された粗ケイ酸の重量(g)}}{\text{試料の重量(g)}} \times 100$$

$$\text{試料中Si}\% = \text{試料中SiO}_2\% \times 0.467$$

4) 試薬

硝酸、過塩素酸、エタノール

5) 補足説明

- (1) ケイ酸含量が少ないものでは、試料に付着した土砂があれば、そのままケイ酸として測定される恐れがあるので、試料の土砂による汚染には十分注意する。
- (2) 分解法が硫酸－過酸化水素分解法の場合は、分解ビンの形状からみて内壁洗浄の工夫を要する。
- (3) 得られる粗ケイ酸は白色である。ピンクあるいは褐色を呈する粗ケイ酸はマンガン、鉄などの分離が不十分な場合である。
- (4) 沈殿の洗浄が不十分な場合、ろ紙を燃やす際に沈殿が飛び跳ねて重量損失が起こる。

2. 7 ホウ素 (B) の定量

1) はじめに

作物体中のホウ素が希塩酸に溶けやすい性質を利用し、作物体粉末試料を灰化せずに直接0.5N塩酸で抽出し、この抽出液についてクルクミンで発色させる方法が安定している。

2) 操作

- ①粉末試料0.1gあるいは0.25gをポリビンに秤取し、これに0.5N塩酸10mLを加える。
- ②ポリエチレン栓をした後、振とう用ラックに固定し、振とう機で2時間振とうする。
- ③ろ過し供試液とする。
- ④供試液1mLをポリエチレンまたはホウ素 (B) を溶出しない50mLビーカーにとり、クルクミン-シュウ酸液4mLを加える。
- ⑤55±3℃に調整し、水量を一定にした恒温水槽にビーカーの底を5mm程度沈めた状態で保持する。
- ⑥4～6時間かけて蒸発乾固させる。
- ⑦放冷後、95%アルコールを10mLあるいは25mL加え、よくかくはんして色素を溶解する。もし沈殿のある場合は15mLポリエチレン遠心管に移し、ポリエチレン栓をした後、2000回転で10分間遠心分離する。
- ⑧上澄液を波長540nmで吸光度を測定する。
検量線は、0～1.0ppmの標準液を1mLずつとって上述の方法と同様に発色して求める。ただし、この場合はCaを含まないので発色後の遠心分離は不要である。

3) 計算

$$\text{試料中のB (ppm)} = \text{検量線からの読み (ppm)} \times 10 \text{ または } 25 \text{ (mL)} \times \frac{1}{\text{試料量 (g)}}$$

4) 試薬

- (1) 塩酸：0.5N-標準塩酸液（市販）
- (2) クルクミン-シュウ酸試薬：クルクミン0.1gとシュウ酸12.5gを95%エチルアルコールに溶解して250mLとする。この試薬は冷室に保存するが、1週間ごとにつくりかえる。作成直後は発色が安定しないため、12時間以上冷暗所で保存後使用する。
- (3) エタノール：95%液
- (4) 1000ppmホウ素標準液（市販）

5) 補足説明

- (1) 試料の点数が少ないときには、振とう装置をマグネチック・スタラーで置き代えることもできる。
- (2) 野菜の硝酸含有率は、0.5～0.6%を越える場合があり、Bの分析値を著しく低くする。このようなときは、試料採取量を0.1gとして分析を実施すれば灰化法の80%以上の分析値を得ることができる。
- (3) 硬質ガラス（硼珪酸ガラス）はBを溶出するから使用しないこと。
- (4) 作物体のホウ素の分析には、ICP発光分析法も適用可能である。

6) 参考文献

- 1) 秋友ら．“土壌の熱水可溶性ホウ素分析におけるクルクミンシュウ酸法の改良”．土肥誌．78，507-510（2007）．

3. 作物の形態的生育指標および品質評価法

3. 1 作物の形態的生育指標（GI、葉茎比、LAI）

生産に關与する土壤肥沃度や施肥管理により、作物体がどのように影響されているかを知る方法として、一般的には作物体の化学分析が行われるが、ここでは作物の生育量を指数化して判定する方法を中心に紹介する。

これらは作物の簡易栄養診断ではあるが、これを適切に用いれば、①生育途中の追肥などの肥培管理上の指標、②収量の予想、③収穫物の品質検定などに極めて有効である。

その主要なものは、純形態的なものとしては生育指数（GI = Growth Index）、葉面積指数（LAI = Leaf Area Index）、葉茎比などがある。

(1) GI

生育指数表示法の通称であるが、作物によって測定法が異なる。GIは乾物重やLAIの測定よりも簡易にでき、作物体をサンプリングしないで、ほ場で直接測定できる。

次にたまねぎとアスパラガスの例を示す。

たまねぎのGI = 草丈 (cm) × 葉数 (枚)

草 丈：地際より最大葉長

葉 数：緑色を残す葉数

測 定 数：20個体以上

アスパラガスのGI = 平均草丈 (cm) × 畦1m当り茎数 (本) × 平均茎径 (cm)

平均草丈：30本以上の草丈を測り平均値を出す。

茎 径：地際から10～15cm上のところで、巾の広い方を測る。径3mm以下のものを除く。

測 定 法：畦3～4mの測定をして、1m当りに換算する。

(2) 葉茎比

作物体（苗を含む）の充実度は作型や窒素肥培管理上、大切な指標となる。例えば、同じ生育時期の作物でも葉茎比が大きいものは栄養生長が優位なことを示すので、窒素施肥の抑制が考えられる。特に、葉茎比は苗素質を表現する簡便な指数であり、トマトでは苗の生育進度毎（若苗から老化苗）に診断基準があるので有効に活用しうる。

トマト苗の葉茎比 = 葉重 ÷ 茎重（いずれも乾物重）

注）サンプリングは20個体以上

(3) LAI

本指標は多くの作物で用いられ、作物群落における適正LAIの確保は効率的な光合成作用を促し、生産性を高める。

測定方法としては直接法として①葉面積計、②トレース法。間接法として①レイト法、②リーフパンチ法、③葉長×葉幅法、④レプリカ法、⑤ポイント法などがある。

3. 2 作物の栄養診断法（葉色、硝酸等）

栄養診断とは生育している作物の体内養分濃度等进行分析し、その栄養状態を把握するというものである。これにより適切な分施、追肥の判断が可能となる。

(1) 葉色

葉色はほ場で測定が可能であり、すぐに結果がわかる利点がある。葉色板、色彩色差計、葉色計（SPAD）を用いることが多く、葉面の反射光もしくは透過光の緑色（クロロフィル）の濃度を数値化する。水稲、畑作物、野菜、りんごなどで基準値が設定されおり、追肥判断などに使用されている。

ここでは透過光型で広く使用されているSPAD-502を利用した秋まき小麦の葉色診断の実施例を示す。

- 1) 測定方法：測定時期は出穂揃期とし、生育中庸個体を選ぶ。測定部位は止葉直下葉（第2葉）の中肋を避けた葉身中央部とする。測定枚数は20枚とし、平均値をもって測定値とする。

(2) 硝酸等の養分

作物体内の養分含有率には主に硝酸を測定するコンパクトイオンメーター（ツイン）、イオン試験紙などがあるが、最近ではRQフレックスを用いることが多くなった。このRQフレックスはイオンメーターより調整が簡単で数多くの養分が分析可能であり、イオン試験紙よりも正確でより定量的ということで広く使用されている。測定部位としては葉身、葉柄、茎、果実等あらゆる場所が考えられるが、いまのところ葉、葉柄といった部位が一般的である。

これまでキャベツ、トマト、ばれいしょ、菜豆、いちごなどで栄養診断基準値が示されているが、ここではトマトの硝酸診断を例に挙げて分析手順を示す。

1) 分析手順

- ① トマト5株以上から第1果房直下葉の先端小葉を切り取る。
- ② 葉身を取り除き、はさみなどで葉柄を細かくきざむ。
- ③ きざんだ葉柄を1.0g量り取る（0.1g単位のはかり使用）。
- ④ 葉柄を乳鉢に入れ、よくすりつぶし、蒸留水49mLを加え（50倍希釈）、かくはんする。
- ⑤ RQフレックスで上澄みの硝酸濃度を測定する。

2) 葉柄硝酸濃度の計算方法

葉柄硝酸濃度（ppm）＝ RQフレックスの測定値×50（ppm）：50倍希釈、硝酸（NO₃）として表示

例：RQフレックスの測定値が 80ppmの場合、葉柄硝酸濃度は4000ppm

注意：RQフレックスの硝酸イオン試験紙は2種類（3～90ppmと5～255ppm）あるが、5～255ppmのものを使用する。

3) 参考文献

- 1) 道立道南農業試験場ら．“ハウストマト窒素栄養診断マニュアル”．道南農試（2003）．

3.3 品質評価法

(1) 農産物の品質評価

農業試験場で取り扱う農産物の品質分析項目は多岐にわたり、個別研究課題に合わせて数多くの品質分析が実施されている。これらの分析手法は、既存の一般的方法を応用したものから、農試が独自に開発したものまでさまざまである。これらの品質分析手法については、土壌や作物の分析法と異なり、総合的・系統的に整理した資料はこれまで作成されてこなかったが、関係者からは統一的なマニュアルの整備が求められていた。

そこで、中央農試農産品質グループでは、本書改訂の機会に合わせ、日常的に実施している一般的な品質分析手法や、これまで研究課題の中で開発した品質評価法および測定のために導入されている分析機器の操作方法等について「農産品質分析マニュアル 2012」として整理することとした。

このマニュアルは、主に農試の実験室において、農試職員が利用することを前提として整理されているため、具体的な操作方法を公開する予定はないが、他の研究機関や農協・普及センター等で品質分析を実施する場合の参考資料として活用することを想定し、本書においてその概要を紹介することとした。

マニュアルに含まれる内容は多岐にわたるが、作物、分析対象項目、目的、手法により集約すると以下の様に整理できる。

- ・対象作物：水稻、小麦、豆類（大豆・小豆・菜豆）、馬鈴しょ、野菜類
- ・対象項目：内部成分、栄養性、外観品質、食味、物理化学的特性、貯蔵性、機能性 など
- ・分析の目的：品種選抜検定、栽培・貯蔵条件の評価、実需・流通段階の選別・品質管理 など
- ・分析手法：化学分析、機器測定、パネルテスト（官能評価）

次ページ以降表 1-1～6 にこのマニュアルに掲載される分析項目の一覧を作物毎に示した。ただし、この分野における分析法は進歩や改訂が著しいため、毎年掲載項目と内容を見直すこととしており、最新版については個別に問い合わせいただきたい。

また、表 3 にはこれまで北海道農業試験会議に提出された品質評価法に関する成果の一覧を示した。表 1-1～6 には、各分析マニュアルと関連のある（評価・分析法のオリジナル手法が示されている、あるいは適用事例となっているなど）成果の番号を示したので、必要な場合にはこれらの研究成果についても参考にされたい。

表 1-1 【水稲】 農産品質分析マニュアル掲載分析項目の概要 (2012.4月現在)

作物	性状用途	分類	評価分析項目	意義・概略・解説	主な分析手法 測定機器	備考	関連成績
水稲	米全般	一般品質	水分	・135℃3時間乾燥法	熱乾燥法		
			玄米品質	・品質判定機により、整粒、未熟粒、被害粒、死米、着色粒、胴割粒、砕粒の7区分に分別する。整粒割合毎に等級が分けられる。	目視 玄米品質判定機	等級格付	
			白度	・精白米の「白さ」を白度計により評価する。	白度計	流通 公定法	
			色	・色彩色差計により、L*値(明るさ)、a*値(赤さ)及びb*値(黄色さ)を評価する。	色彩色差計		
	うるち良食味	食味特性	アミロース含量	・米の澱粉に占めるアミロースの比率を示す。オートアナライザーは、ヨウ素呈色反応によるアミロース含量の測定を自動化した装置。一般にアミロース含量が低い米ほど良く粘り、米の食味評価指標として重要な項目である。	アミロースオート アナライザー	育種 検定	49
			タンパク質含有率	・N含量にタンパク係数である5.95を乗じた値をタンパク質含有率とし、一般的に精白米乾物当たりの%で表示する。米の食味と関係が深く、タンパク質含有率が高すぎる米は硬く、外観の悪い米飯になる。	ケルダール法 近赤外分光法	育種 検定	17
			熱糊化性	・米粉の「糊になり易さ」を加熱機能付きの回転粘度計で計測した値で、ご飯の炊けやすさの指標となる。RVA(ラピッド・ビスコ・アナライザー)は従来のアミログラフを簡易・迅速・小型化し、少量試料での測定を可能にした測定機器。	RVA	育種 検定	
			米飯テクスチャー	・少量炊飯した炊飯米を、テクスチャーアナライザーを用いて物性測定し、炊飯米の「かたさ」、「粘り」および「付着性」を評価する。	テクスチャーアナ ライザー	育種 検定	29
			炊飯米外観評価	・米飯の外観特性は、「白さ」「つや」で表現され、粘りやかたさなど物理的な食感と共に、食味評価における重要なファクターとなる。炊飯米外観測定装置を用いて炊飯米の外観特性(白さ、つやの量、つやの強さ)を客観的に評価する。	炊飯米外観測定装 置	育種 検定	16 24
			米飯老化性	・β-アミラーゼ・プルラーゼ(以下「BAP」)法で、澱粉の糊化・老化の程度を評価することが出来る。BAP原法では脱水処理及び懸濁処理の工程は煩雑であり、多数点分析に対応することは困難であるが、米飯調製から懸濁処理までを一連した操作で行うことにより、多点一括処理を可能とした(BAP変法)。	BAP変法	育種 検定	49
	加工米	加工適性	ダマ化率	・炊飯米の「粘り」や「べとつき」は加工米飯製造ラインの調味料や具材との混和などにおいて、米飯が塊状となり商品性の低下を招く要因となる。米飯の粒離れ「バラ化度合」は炊飯米表面の物性が影響することから、カップにより少量炊飯した米飯の表層物性を測定し、米飯の「かたさ」「粘り」「付着性」を評価する。	テクスチャーアナ ライザー	育種 検定	29
			もち生地硬化性	・もち米の硬化性については、用途により求められる特徴が異なる。一般的に赤飯、おこわ、大福といった硬化過程を行わない製品には硬化速度が遅いもの、切り餅やあらねなどの米菓などには硬化速度が速いものが適している。もち生地を調製し、テクスチャーアナライザーの2mmプローブを用いた突き刺し法により物性を評価する。	テクスチャーアナ ライザー	育種 検定	3 38
	もち米	加工適性	糊化温度	・糊化温度が高い糯米は、もち生地を成型した後の硬化性が高い。RVAを用いることにより、少量・迅速に糊化温度(RVAピーク温度)が測定でき、硬くなり易い糯米の初期選抜に応用されている。	RVA	育種 検定	3
			もち白度	・もち生地の白さは重要な品質特性である。硬化性測定後のもち生地を白度計セルに合わせて成型して白度を測定する。	白度計		3
			もち色	・色彩色差計を用いて、もち生地に求められる「白さ」を評価する。主に「白さ」を示すL*値(明るさ)は、白度計の示す「白度」と置き換えて考えることができる。	色彩色差計	育種 検定	38
			千粒重	・酒米にとって粒の大きさ(千粒重)は、精米特性や酒質に影響を及ぼす重要な形質である。	粒数カウンター		
	酒米	酒米適性	消化性	・日本酒醸造過程における蒸米の溶けやすさを実験室内で評価する指標である。	酒米統一分析法		3
			吸水特性	・酒米の吸水しやすさの指標となる。20分と2時間の吸水率を測定し、吸水量と速度を評価する。	酒米統一分析法		3
			タンパク質組成	・米には2種類の形態の異なるタンパク質顆粒が含まれ、被消化性が異なる。それぞれのタンパク質顆粒(PB-IおよびII)を構成するポリペプチド分子量の違いを利用してその構成比を測定する。	SDS-PAGE		32
	その他用途	その他	食物繊維含量	・米の食物繊維含量は他の食物に比較して低い、摂取量自体が多いことから米は日本人の食物繊維摂取源としては重要である。食品成分表の公定分析となっているProsky法を応用した方法で測定する。	Prosky変法	AOAC 公定法	32
炊飯特性			・少量の精米を金網に入れ湯炊きし、その残存液の成分、膨潤率、加熱吸水率などを評価する。				
難消化性成分			・食物繊維、難消化性タンパク質(PB-I)およびRS(レジスタントスターチ)を指す。米の機能性成分として検討されている。			32	

RVA = ラピッド ビスコ アナライザ

表 1-2 【小麦】

作物	性状用途	分類	評価分析項目	意義・概略・解説	主な分析手法 測定機器	備考	関連成績
小麦	小麦粉	小麦粉品質	水分	・130℃1時間乾燥法			
			製粉性	・小麦子実を小麦粉（胚乳）と皮（フスマ）に分離するためには製粉が必要となるが、この時の小麦粉の収率や効率などを示す。製粉には100g程度を製粉する場合はブラベンダー型ジュニアテストミル、1kg以上を製粉する場合はビューラー式テストミルが用いられる。	ビューラーテストミル ブラベンダーテストミル		
			タンパク質含有率	・タンパク質含有率は小麦の用途を大まかに区分する重要な指標で、高タンパクなら強力粉としてパンに、やや高いタンパクなら準強力粉として中華麺に、中タンパクなら中力粉としてうどんに利用される。ケルダール法や近赤外分光法で分析する。	ケルダール法 近赤外分光法	流通基準	
			灰分含量	・小麦全粒粉あるいは小麦粉中に含まれるリンやカリウム、カルシウムなどのミネラルの総量を表す。小麦粉の色に影響し、一般に低い方が良くいとされる。550℃以上の高温で灰にする乾式灰化法で分析する。	乾式灰化法	流通基準	
			フォーリングナンバー	・水25mLに小麦粉7gを加え、熱湯中で60秒間加熱・かくはんしたときに、かくはん棒が落下する時間を測定する。一般的に300秒未満は低アミロの可能性が大きいとされる。	フォーリングナンバー	流通基準	
			α-アミラーゼ活性	・低アミロ小麦を正常小麦と仕分けするための検定法として用いられる。	ブルー・スターチ法 ドライケミストリー法	育種検定	8 18 25 27 31 33
			糊化特性	・粘度計の一種で、小麦粉の懸濁液を加熱または冷却しながら、糊化特性を測定する。アミログラフで測定した最高粘度（アミロ粘度）が300B.U（ブラベンダー・ユニット）を下回る「低アミロ小麦」では、加工適性が劣るとされている。	アミログラフ、RVA		2 5 8 26 41
			色	・小麦粉と水を混ぜてペースト状にし、色彩色差計でL*、a*、b*値を測定する。	色彩色差計		
		生地特性	生地物性	・小麦粉と水をこねてミキサーの翼に加わる抵抗値の推移を測定・記録し、小麦粉のタイプ、混捏耐性を判定する。	フェリノグラフ マイクロドゥラボ ミキソグラフ		23
			沈降試験	・不溶性タンパク質量を推定する指標。数値が高いほど不溶性タンパク質量が多く、パン体積では大きくなる傾向がある。	マイクロSDSセディメンテーションテスト		
			損傷でん粉含量	・カピα-アミラーゼで損傷澱粉をマルトサッカライドと限界デキストリンに分解し、さらにアミログルコシダーゼでグルコースにまで分解し、生成されたグルコース量を吸光度測定によって定量する。損傷澱粉は正の澱粉粒に比べて吸水性や酵素感受性が異なり、パンのドウに影響を及ぼす。	STARCH DAMAGE ASSAY KIT		
			グルテン特性	・小麦粉に食塩水を加えながら混捏し、形成されたグルテンを取り出して量を測定する。また、ふるいつきの容器にグルテンを入れて遠心し、ふるいを通らないものの割合（グルテンインデックス）を求め、グルテンの質を推定する。	グルトマチックシステム		
		加工適性	製パン試験	・小麦粉100gからワンローフ山型パンを作り、パン体積、比容積の測定、外観の評価とテクスチャーデータの採取を行う。	テクスチャーアナライザー	育種検定	26
			ゆでめん試験	・食感についての官能評価			
			中華めん適性	・小麦粉50gから中華麺を作成し、茹で麺のテクスチャーとめん帯色の測定を行う。	テクスチャーアナライザー	育種検定	51

表 1-3 【大豆】

作物	性状用途	分類	評価分析項目	意義・概略・解説	主な分析手法 測定機器	備考	関連成績	
大豆	大豆全般	原粒特性	原粒水分	・豆乳調製の際の加水量や煮豆の煮熟増加比を求める際、浸漬前大豆の乾物重を基に計算するため、水分含量の測定が必要になる。また、極端に低水分（8%未満）や高水分（15%以上）の大豆は、加工適性上も問題になる。105℃24時間乾燥による減量分から求める。				
			遊離糖含量	・大豆に含まれる主な遊離糖には、加工製品の甘味に最も寄与するショ糖や整腸作用等の機能性を有するオリゴ糖（ラフィノース、スタキオース）等がある。50℃の熱水で1時間抽出し、HPLCで分析する。	高速液体クロマトグラフ	育種検定	54	
			タンパク含量	・タンパク含量と豆腐の硬さには有意な相関がある。ただし、著しくタンパク含量が高い（乾物あたり45%以上）大豆は、豆乳が高粘度となり加工適性が劣る場合がある。大豆粉末をケルダール分解した液をインドフェノール青法により測定する。または、近赤外分光装置Infratec1241により測定する。	ケルダール法・近赤外分光法		40 53	
			タンパク質の電気泳動	・豆腐加工適性に影響する子実タンパクの組成（サブユニット構成）を分析する。粉末からタンパク質をTCA-アセトン抽出し、SDS-ポリアクリルアミドゲル電気泳動を用いて、分子量により分画する。	SDS-PAGE			
			粗脂肪	・一般成分として分析することがあるが、加工適性や食味への影響は不明である。ソックスレーの抽出器を用い、ジエチルエーテルを還流させて抽出する。	エーテル抽出法			
			無機成分含量	・通常の凝固剤濃度では、大豆のタンパク含量が多くてもCa、Mgの総量が少なくと豆腐が固まりづらい。大豆の子実中のPはほとんどがフィチン態P（後述）として存在する。ケルダール分解液を用い、Ca、Mgは原子吸光により、Pはバナドモリブデン酸法により定量する。	原子吸光光度法 比色法		53	
			フィチン態P	・フィチン酸は、Ca、Mgと強く結合し、豆腐の凝固を妨害する。スルホサリチル酸とFe（Ⅲ）イオンの錯体の色がフィチン酸のキレート作用により薄くなることを利用して定量する。	Wade試薬による比色法		53	
			イソフラボン	・イソフラボンは大豆の主要なフラボノイドであり、女性ホルモン様の作用を有する。大豆に多いのは主に配糖体のダイジン、ゲニスチンである。各種の配糖体および基本骨格であるアグリコンをHPLCにより分別定量する。	高速液体クロマトグラフ			
	豆乳・豆腐	加工適性	吸水率	・豆腐や煮豆加工の際、原粒大豆を水に浸漬したときの重量の増加率。十分に吸水させた場合、品種ごとに一定の値になる。				
			煮熟特性	・原粒の乾物重に対する、浸漬・煮熟後の重量の比率。大きい方が煮豆が柔らかく、歩留まりも良いため望ましい。				
			豆乳粘度	・豆乳粘度が高すぎると、凝固反応が不均一になり、豆腐加工上の障害となる。生乳をスチームレンジにより加熱後に遠心分離して豆乳を調製し、回転粘度計により5℃30rpmにおける粘度を測定する。当評価法による粘度が60mPa・sを超えると実需評価でも問題となる場合が多い。	回転粘度計	育種検定	40 53	
			豆腐硬さ評価	・豆腐の硬さ（破断応力）は、実需者による豆腐作製の際の固まりやすさや歩留まりを反映し、最も重要な加工適性である。冷却した加熱しぼり豆乳に0.25%MgCl ₂ を加え再加熱して得られた充填豆腐の破断応力を、テクスチャーアナライザーにより測定する。より簡便な生しぼり法により評価することも可能であるが、加熱しぼり法により豆乳粘度が上がるサンプルでは、結果が異なる場合がある。	テクスチャーアナライザー	育種検定	40 53	

表 1-4 【小豆・菜豆】

作物	性状用途	分類	評価分析項目	意義・概略・解説	主な分析手法 測定機器	備考	関連成績	
小豆・菜豆	豆類全般	一般成分	水分	・105℃24時間乾燥法				
			粗タンパク質	・ケルダール法や近赤外分光法で分析する。	ケルダール法 近赤外分光法			
			糖含量	・フェノール硫酸法は全糖、Somogyi-Nelson法は還元糖量を測定する。	フェノール硫酸法 Somogyi-Nelson法			
			炭水化物含量	・水分・タンパク質・脂質・灰分を差し引き算出する。	差し引き法			
	小豆	機能性	ポリフェノール	・ポリフェノール量を測定する方法として、酒石酸鉄法やFolin-Denis法、Folin-Ciocalteu法などがある。	Folin-Denis法		36	
			抗酸化活性	・抗酸化活性を評価する方法として、1,1-diphenyl-2-picrylhydrazyl (DPPH) ラジカル消去活性法やoxygen radical absorbance capacity (ORAC) 法、nitrobluetetrazolium (NBT) 法、ロダン鉄法など多くの方法が知られている。	DPPHラジカル消去活性法		36	
		加工適性	煮熟特性	・98℃40～90分間加熱後重量から算出する。			育種 検定	53
			製あん法	・煮熟後の豆種子をメッシュサイズ0.5mmのふるい上でつぶして種皮と分離する。			育種 検定	6 30 54
			粒径組成	・粒度分布の測定原理はいくつかあるが、近年はレーザ回折式を測定原理とする粒度分布測定装置が主流となっている。また、粒子径の大きさはmedian径またはmode径で表す場合が多いが、過去の成績中ではmode径で表示している。	粒度分布計		育種 検定	6 30 54
	手亡 金時	加工適性	あん色	・製あん後の試料をガラスセルに採り湿色を測定する。	色彩色差計	育種 検定	6 30 54	
			加糖あんの調製・物性測定	・生あんを市販加糖あんと同様のBrix、水分含量に調整し、テクスチャーアナライザーを用いて付着性（ねばり）を測定する。	テクスチャーアナライザー	育種 検定	30	
手亡		煮豆調製	・98℃20分間加熱し、皮切れ・煮崩れ粒を数える			育種 検定	9	
		種皮・子葉部の物性	・種皮、子葉部ともにテクスチャーアナライザーで物性を測定するが、測定条件が異なる。	テクスチャーアナライザー	育種 検定	9		

表 1-5 【馬鈴しょ】

作物	性状用途	分類	評価分析項目	意義・概略・解説	主な分析手法 測定機器	備考	関連成績
馬鈴しょ	塊茎全般	一次品質	でん粉含量	・80%エタノールで可溶性糖を除去し、0.7M塩酸で加水分解し、生成したグルコースをグルコースオキシダーゼ法により定量。でん粉含量に換算する。	酸分解法		34
			でん粉価	・馬鈴しょのでん粉価は、食味や調理加工適性に大きく影響を及ぼす。馬鈴しょの重量と水中に沈めたときの重量から比重を求め（でん粉は比重が大きいことを利用）、換算式からでん粉価を算出する。現地等で数kgの馬鈴しょの平均でん粉価を測定する際には、市販のデンプン価測定装置が適用できる。また、光センサーによりライン上での非破壊測定・選別が可能。	比重法	普及機器あり	22 34
		一般成分	無機成分	・湿式灰化後、原子吸光法により定量。	原子吸光光度法		
			ビタミンC	・栄養成分として重要	高速液体クロマトグラフ		
			遊離アミノ酸	・食味との関連が検討されている。	高速液体クロマトグラフ		
	ポテトチップ	加工適性	糖含量	・80%エタノールで生の塊茎から糖を抽出し、高速液体クロマトグラフで定量する。還元糖含量は油加工品の色の濃さや、油加工時のアクリルアミド生成量と関係がある。	高速液体クロマトグラフ		
			色	・アグトロンカラーメーターで測定した値を「アグトロン値」と呼ぶことが多い。アグトロン値が高いほどポテトチップスの色が明るく、油加工用途に適している。	アグトロンカラーメーター CM-3500 d		

表 1-6 【野菜】

作物	性状用途	分類	評価分析項目	意義・概略・解説	主な分析手法 測定機器	備考	関連成績		
野菜	野菜全般	一般成分	ビタミンC	・重要な栄養成分。1%メタリン酸溶液中でホモジネートして抽出。HPLC法で測定。簡易法として、搾汁液をRQフレックス（アスコルビン酸用試験紙）により測定する方法も適用できる。	高速液体クロマトグラフ	普及機器あり	15 43		
			遊離アミノ酸	・80%エタノール中でホモジネートして抽出。高速液体クロマトグラフで分別定量。キャベツ等に含まれるビタミンU（メチルメチオニンスルフォニウムクロライド）は生体液成分中の遊離アミノ酸である。	高速液体クロマトグラフ		15 43		
			無機成分	・湿式灰化後、原子吸光法により定量。	原子吸光光度法				
			糖含量	・作目によって重要な呈味成分となる。80%エタノール中でホモジネートして抽出。HPLCで定量。ショ糖、ブドウ糖、果糖など。	高速液体クロマトグラフ		15 43		
			糖度	・果実や果菜類で糖含量の簡易測定法として広く普及。測定部位を搾汁して、糖度計で測定。光の屈折により可溶性固形分含量を測定している。糖含量がすくなく、その他の可溶性固形分含量が多い葉菜類などでは、甘味や糖含量を正確に評価できないことがある。	糖度計	普及機器あり			
			でん粉含量	・80%エタノールで可溶性糖を除去し、0.7M塩酸で加水分解し、生成したグルコースをグルコースオキシダーゼ法により定量。でん粉含量に換算する。	酸分解法		34		
			ペクチン	・細胞壁に存在し、細胞間の結着の強さに関係。食感（硬さ、ねばり）に影響する。エタノールで可溶性成分を除去した後、水、ヘキサメタリン酸、塩酸で順次抽出し、カルバゾール硫酸法で各画分中のガラクトuron酸を定量。	カルバゾール硫酸法		28 30		
			食物繊維	・近年、栄養成分として認められる。食感（硬さなど）に影響する。酵素法によりでん粉やタンパク質を分解後、水溶性食物繊維と不溶性食物繊維に分別する。各画分の乾燥重量から、別途測定したタンパク質と灰分を差し引いて、各画分の食物繊維含量を求める。	Prosky変法	AOAC 公定法	15 28		
			だいこん	物性	かたさ	・ディスク状に調製しただいこん試料をテクスチャーアナライザーで圧縮測定し、試料の破断時応力をかたさ評価値とする。	テクスチャーアナライザー		28
					煮熟、塩漬	・煮熟はディスク状に調製しただいこん試料をオートクレーブで一定時間煮熟し、放冷する。塩漬は、薄くスライスしただいこん試料を塩水で浮かし漬けにする。いずれも、調製後、テクスチャーアナライザーで破断時応力を測定する。	オートクレーブ	前処理 条件	28
イソチオシアネート	・だいこんの辛味成分。だいこんをジュースで搾汁し、搾汁液にジエチルエーテルを加えて振とう抽出。エーテル層を採取し、ガスクロマトグラフによりだいこんのイソチオシアネート（4-メチルチオ-3-ブテニルイソチオシアネート）を定量する。	ガスクロマトグラフ				28			
ながいも	物性	ねばり	・ながいもを剥皮後、フードプロセッサーですりおろし、RVAで粘度を測定する。	RVA	育種 検定	35 42			

表 2 タンパク係数

作物	部位等	係数	備考
米	白米、玄米	5.95	
小麦	粉	5.70	育種、栽培試験、品質取引
小麦、大麦、エンバク	全粒	5.83	成分表
大豆	全粒	6.25	育種、栽培試験、JAS規格
	〃	5.71	成分表、食品産業
その他		6.25	

※成分表 = 5訂増補食品成分表2008

※育種（小麦） = 小麦品質検定方法、農水技術会議（1968）

表3 農産物の評価・分析法に関する研究成果一覧（北海道農業試験会議提出課題 1992～2012年）

No.	提出年	成果名	作物名
1	H4 (1992)	北海道産小豆の品質現況と製あん特性の二、三の評価	小豆・菜豆
2	H5 (1993)	低アミロ小麦の発生要因の解明と対策	小麦
3	H6 (1994)	北海道米の加工適性とその評価	水稲
4	H6 (1994)	ばれいしょ澱粉の品質特性と変動要因	馬鈴しょ
5	H7 (1995)	小麦の低アミロ耐性の要因解析	小麦
6	H7 (1995)	北海道産菜豆の品質現況と製あん特性	小豆・菜豆
7	H7 (1995)	カット・ピール向けばれいしょの加工適性	馬鈴しょ
8	H8 (1996)	低アミロ小麦の簡易迅速検定法の開発	小麦
9	H8 (1996)	金時類の煮豆特性に関わる品質（かたさ）の評価法	小豆・菜豆
10	H9 (1997)	北海道産小豆の品質特性と種皮色区分	小豆・菜豆
11	H9 (1997)	水煮ばれいしょの硬さ評価法	馬鈴しょ
12	H9 (1997)	たまねぎ品質・調理適性の品種間並びに年次間差異と品質評価法	野菜
13	H10 (1998)	冷凍米飯向け原料米の加工適性と評価	水稲
14	H10 (1998)	米のアレルゲン性評価手法の開発と変動実態調査	水稲
15	H11 (1999)	キャベツの内部成分の変動要因と指標値の策定	野菜
16	H11 (1999)	画像解析による米飯の白さ・つやの評価	水稲
17	H11 (1999)	米の簡易食味分析計の使用実態と改善指針	水稲
18	H12 (2000)	α -アマラーゼ活性自動分析装置による小麦収獲物の品質判定	小麦
19	H13 (2001)	米アレルギーに関する臨床実態と生化学的解析	水稲
20	H13 (2001)	北海道もち米の実需実態と理化学特性	水稲
21	H13 (2001)	小豆のタンニン含量の変動要因と食味（渋味）に及ぼす影響	小豆・菜豆
22	H13 (2001)	ばれいしょのでん粉価に基づく調理・加工適性	馬鈴しょ
23	H13 (2001)	機器分析によるパン品質（色・物性）の評価	小麦
24	H14 (2002)	炊飯米外観（白さ・つや）自動測定装置の開発と利用	水稲
25	H14 (2002)	α -アマラーゼ活性自動分析装置による小麦品質の仕分け区分	小麦
26	H14 (2002)	機器分析によるパン品質（色・物性）の評価	小麦
27	H14 (2002)	ドライケミストリー法による小麦 α -アマラーゼ活性簡易迅速測定	小麦
28	H14 (2002)	だいこんの品質（かたさ・辛味）の評価法と調理・加工による変化	野菜
29	H15 (2003)	北海道米の冷凍米飯に対する加工適性評価	水稲
30	H15 (2003)	菜豆類の白あんテクスチャー（ねばり）評価手法の開発	小豆・菜豆
31	H15 (2003)	ドライケミストリー法による小麦 α -アマラーゼ活性の簡易迅速測定システムの開発	小麦
32	H15 (2003)	難消化性成分からみた北海道米の機能性解析	水稲
33	H16 (2004)	小麦 α -アマラーゼ活性測定システム（ドライケミストリー法）を用いた品質区分	小麦
34	H16 (2004)	光センサーによるばれいしょのでん粉価測定・選別技術	馬鈴しょ
35	H16 (2004)	ながいものねばり評価法と品質（乾物率・ねばり）向上対策	野菜
36	H16 (2004)	小豆の抗酸化活性の変動要因と簡易評価技術	小豆・菜豆
37	H16 (2004)	α -アマラーゼ活性自動分析用標準物質の安定性評価	小麦
38	H16 (2004)	もち米品質がもち生地品質（色・物性）に及ぼす影響とその評価法	水稲
39	H16 (2004)	米粉のヨウ素吸収マルチスペクトル解析による新食味評価法の開発	水稲
40	H17 (2005)	道産大豆の豆腐加工適性（硬さ）の簡易評価法	大豆
41	H17 (2005)	秋まき小麦のタンパク質含量および糊化特性に基づく加工適性の評価	小麦
42	H18 (2006)	光センサーによるながいもの品質（乾物率・ねばり）測定技術	野菜
43	H18 (2006)	道産・輸入野菜の品質比較	野菜
44	H19 (2007)	小豆の抗酸化成分による生理調節機能の解析	小豆・菜豆
45	H19 (2007)	水稲品種「おぼろづき」の食味評価と石狩空知南部地域における栽培特性	水稲
46	H20 (2008)	農業現場で活用可能な小豆ポリフェノールの非破壊測定技術	小豆・菜豆
47	H20 (2008)	メロンテクスチャーの食味に対する影響と評価法	野菜
48	H21 (2009)	光センサーによるメロン品質（糖度・果肉硬さ・内部障害）の測定技術	野菜
49	H21 (2009)	北海道米品種の食味現況と高品位米選抜強化のための新しい食味検定法	水稲
50	H22 (2010)	光センサーによるだいこん内部障害（パーティシリウム黒点病）の非破壊計測・選別技術	野菜
51	H22 (2010)	小豆ポリフェノールの生理調節機能の解明とその変動要因	小豆・菜豆
52	H22 (2010)	機器測定による中華めんの硬さおよび色の評価法	小麦
53	H22 (2010)	加熱絞り法による大豆の豆腐加工適正（豆腐硬さ、豆乳粘度）評価法	大豆
54	H22 (2010)	小豆加工適性（煮えむら、煮熟臭）の評価法と変動要因解明	小豆・菜豆
55	H23 (2011)	大豆のショ糖含量および豆腐の硬さを指標とした豆腐の食味評価	大豆
56	H23 (2011)	加工用（ポテトチップス用）馬鈴しょの長期貯蔵における品質安定化技術	馬鈴しょ
57	H24 (2012)	近赤外分光法による豆腐加工適性（硬さ）の非破壊評価法	大豆

(2) 牧草・飼料作物の品質評価

牧草、飼料作物は草種、品種、生育環境、生育時期の違いによって品質が変化するので乾物収量だけではなく、栄養収量の多い事が重要である。牧草や飼料作物の品質は、1) 飼料成分、2) 栄養価、3) サイレージの発酵品質、4) 安全性の面から評価される。

1) 飼料分析

(1) 一般成分

- ①水分：重量法
- ②乾物 (DM)：100－水分
- ③有機物 (OM)：DM－粗灰分
- ④粗タンパク (CP)：ケルダール法で測定した窒素を 6.25 倍して CP とする。硝酸態および亜硝酸態の窒素は含まない。
- ⑤粗脂肪 (EE)：ジエチルエーテルで 16 時間連続抽出した成分を EE とする。
- ⑥可溶無窒素物 (NFE)：差引き計算で求める。
$$\text{NFE} = 100 - (\text{水分含量} + \text{CP 含量} + \text{EE 含量} + \text{CF 含量} + \text{粗灰分含量})$$
- ⑦粗繊維 (CF)：1.25%の硫酸および 1.25%の水酸化ナトリウムで煮沸処理した残渣から灰分量を減じたものを CF とする。
- ⑧粗灰分：600℃で 2 時間加熱灰化した残りを粗灰分とする。

(2) デタージェント分析法による繊維分画

- ①界面活性剤 (デタージェント) で煮沸して分画する方法。その残渣を繊維とする。
- ②中性デタージェント繊維 (NDF)：植物細胞壁を構成している成分。主としてセルロース、ヘミセルロース、リグニンが含まれる。なお、粗灰分を差し引いたものは NDFom と表記する。
- ③酸性デタージェント繊維 (ADF)：主としてセルロースとリグニンからなる。なお、粗灰分を差し引いたものは ADFom と表記する。
- ④酸性デタージェントリグニン (ADL)：ADF をさらに 72%硫酸で処理した残渣から粗灰分を差し引いた値を ADL (リグニン) とする。

(3) 酵素分析法による繊維分画

- ①酵素 (アクチナーゼ) 処理で分画する方法
- ②細胞壁物質 (CW)：酵素処理した残渣を CW とする。なお、粗灰分を差し引いたものは OCW と表記する。デタージェント法の NDF とほぼ同様な値となる。
- ③細胞内容物 (CC)：100 から CW 含量を引いた値とする。なお、OM から OCW を差し引いたものは OCC と表記する。
- ④高消化性繊維 (Oa)：OCW-O_b を O_a とする。
- ⑤低消化性繊維 (Ob)：CW をさらに酵素 (セルラーゼ) 処理し、その残渣から粗灰分を引いたものを Ob とする。

(4) でんぷん：飼料を過塩素酸で抽出し、グルコースオキシダーゼ試薬により発色させ比色定量する。

(5) ミネラル：分析対象となる元素は 16 種類ある。湿式あるいは乾式灰化法によって調製した試料溶液を原子吸光法 (カルシウム、ナトリウム、カリウム、マグネシウム、鉄、亜鉛、銅、マンガン、セレン)、比色法 (リン、モリブデン、コバルト、フッ素)、滴定法 (ヨウ素、塩素)、重量法 (イオウ) によって測定する。

(6) アミノ酸：タンパク質およびペプチドとなっているアミノ酸を加水分解し、遊離させた後、イオン交換樹脂等を用いて各アミノ酸を分離定量する。

(7) ビタミン：分析対象となるビタミンは 12 種類ある (A、D、E、K、チアミン (B₁)、リボフラビン (B₂)、ナイアシン (ニコチン酸)、ピリドキシン (B₆)、パントテン酸、ビオチン、葉酸、B₁₂)。測定法としては、理化学的測定法、微生物学的測定法および生物学的測定法がある。

飼料成分のうち、OCW、Ob、NDF、ADF、ADL、CP、CP 分画、EE 等の成分は、近赤外分析により推定する方法もある。

2) 栄養価

消化率：消化率は摂取した量と排泄された量の関係から求める。ある成分の消化率 (%) = (摂取したある成分量 - 糞中へ排泄されたある成分量) × 100 / 摂取したある成分量 と定義されている。家畜消化試験あるいは in vitro の消化試験であるデタージェントセルラーゼ法により行う。

可消化養分総量(TDN)：一般に TDN 含量は次の式から求めている。

$$\text{TDN} = (\text{CP 含量} \times \text{その消化率}) + (\text{EE 含量} \times \text{その消化率} \times 2.25) + (\text{CF 含量} \times \text{その消化率}) + (\text{NFE 含量} \times \text{その消化率})$$

3) サイレージの発酵品質

pH：ガラス電極法

有機酸：乳酸、揮発性脂肪酸（酢酸、酪酸、プロピオン酸）

揮発性塩基態窒素（VBN）

Vスコア：揮発性塩基態窒素、総窒素、酪酸、酢酸、プロピオン酸の値で発酵品質を評価する手法。

表4 Vスコア法によるサイレージの品質評価基準¹⁾

VBA/TN=a 点数 (A)	a ≤ 5 50	a = 5 ~ 10 60 - 2 × a	a = 10 ~ 20 80 - 4 × a	20 < a 0
酢酸 + プロピオン酸 = b 点数 (B)	b ≤ 0.2 10	b = 0.2 ~ 0.5 (150 - 100 × b) / 13		1.5 < b 0
酪酸以上の VFA = c 点数 (C)	c = 0 40	c = 0 ~ 0.5 40 - 80 × c		0.5 < c 0
Vスコア	A + B + C		(80点 ≥ : 良、80 ~ 60点 : 可、60点 ≤ : 不良)	

¹⁾ 粗飼料の品質評価ガイドブック (2009)

注1) 各成分の数値は新鮮物中の含有率 (%)

注2) VBN：揮発性塩基態窒素、TN：総窒素、VFA：揮発性脂肪酸

4) 安全性

「飼料安全法（飼料の安全性の確保及び品質の改善に関する法律）」では、有害物質または病原微生物の汚染の防止を図る観点から、それぞれの製品の特性に応じて、かび毒、残留農薬、重金属、病原微生物、脂質の酸化生成物、食塩、硝酸塩、揮発性塩基性窒素等の中から分析項目、分析頻度等を選定して品質管理を行うこととなっている。この時、試料の採取は、「飼料等検査実施要領」（昭和52年5月10日付け52畜B第793号畜産局長通達）に準じて行う。また、分析方法は、「試料分析基準」（平成7年11月15日付け52畜B第1660号畜産局長通達）によることを原則とするが、市販の簡易検査キット等を用いることもできる。

5) 参考文献

- 1) 牧草・飼料作物栄養価問題検討委員会編，“牧草・飼料作物の栄養価評価の手引”，財団法人北農会，2001，p. 1-71.
- 2) 自給飼料品質研究会編，“粗飼料の品質評価ガイドブック”，日本草地畜産種子協会，2009，p. 1-195.

4. 栄養生理障害診断

普及センターや JA 等から作物の生育不良について相談を受けたり、障害が発生した作物を持ち込まれたりした場合について、対応の手順、各養分の働きと欠乏・過剰の症状一覧を示した。

4. 1 対応の手順

1) 調査票の記載

普及センターや JA 等から障害が発生した作物を持ち込まれた場合、持ち込み日時、持ち込み者、対応者、作物・品種、場所・農家名、土壌タイプ、防除（殺菌剤、殺虫剤、除草剤）来歴、施肥（化学肥料、たい肥等の有機質資材、各種の土壌改良材や葉面散布剤）来歴、いつ頃からどのような症状が出たか、等の必要事項を記載するとともに、必ず写真を撮る。また、過去の土壌診断履歴を確認する。

2) 病害、虫害、薬害の確認

- (1) 病害、虫害（ダニ、センチュウ）、除草剤による薬害等、栄養生理障害以外が原因と疑われる場合、最初にそれぞれの専門家に見てもらおう。栄養生理障害としていろいろ調査・分析を行ったが原因がわからず、後で病気や除草剤が原因だった等ということがあるので注意する。
- (2) 除草剤については、障害の出た作物には散布していなくても、前作や隣接ほ場で使用し、影響を受けている場合もあるので注意する。
- (3) 症状が紛らわしいもの、原因が複合的に関与している場合があるので注意する。

3) 発生状況の調査

- 可能であれば現地に赴き、障害の発生状況を調査するとともに、農家から聞き取り調査を行う。
- (1) 写真撮影：ほ場全体、障害発生部分と正常部分、障害個体と正常個体等の写真を撮る。
 - (2) 発生場所：生理障害は一般にスポット状に出ることが多い。地形や有効土層、土層改良（下層土が露出して障害が発生することも多い）の影響も考慮する。
 - (3) 気象条件の影響：一般に生育初期の低温条件で、根の伸張が不良だと各種の養分欠乏（豆類のリン酸欠乏、亜鉛欠乏、苦土欠乏等）が出やすい。一方、夏季高温で作物の生長に養分吸収が追いつかないときにも養分欠乏（てんさいや各種野菜の石灰欠乏、苦土欠乏等）が出やすい。
 - (4) 土壌の影響：土壌タイプにより発生しやすい障害が異なる。たとえば、十勝地域では湿性火山性土で銅欠乏、乾性火山性土で亜鉛欠乏が出やすい。リン酸欠乏はリン酸吸収係数の高い火山性土で出やすい。
 - (5) 土壌水分の影響：一般に養分欠乏は干ばつ時に出やすい（石灰欠乏等）。ただし、過湿条件で根腐れ等による生育不良もよく起こる（この場合は、窪地や低みの排水不良部で出る）。特に、大豆では湿害によって根粒が腐敗・脱落し、窒素欠乏症状を呈することがよくある。
 - (6) 施肥の影響：必要な成分がきちんと施肥されているか。窒素、カリはきちんと施肥されていれば欠乏症はまず出ない。ただし、施肥位置がずれていると窒素欠乏、カリ欠乏が発生する場合も認められる。肥料に苦土、銅、亜鉛等が入っていれば、欠乏症は起こりにくいですが、単肥配合や輸入肥料ではこれらが入らないことが多い。逆に多肥による濃度障害で発芽不良・生育不良となることもよくあり、この場合、土壌 EC で判断可能である。
 - (7) バークたい肥や特殊な資材の施用：これらによる発芽不良・初期生育不良はよく観察されるので、施用の有無や種類を確認する。
 - (8) 前作での症状：前作で障害が出ていなかったか確認する。ただし、作物によって耐性が異なるので、必ずしも前作では発現しないことも多い。

4) 作物体の症状の観察

- (1) 症状の発生部位：上位葉か下位葉か。窒素、リン酸、カリ、苦土等の易移行性の養分は下位葉で欠乏症状が出る（図1）。一方、石灰、銅、亜鉛等の難移行性の養分は上位葉で欠乏症状等が出る。
- (2) 葉の症状：葉全体の黄化は窒素、カリ欠乏等で出やすい。葉脈間の黄化は苦土欠乏等でよく認められる。アントシアンにより赤紫化しているとリン酸欠乏が疑われる。葉脈間の黄化とカップリング（縮葉）は豆の亜鉛欠乏で特徴的な症状である。麦の葉巻・不稔は銅欠乏の典型的な症状である。新葉の黒化・壊死、葉縁部の褐変は石灰欠乏で出やすい。

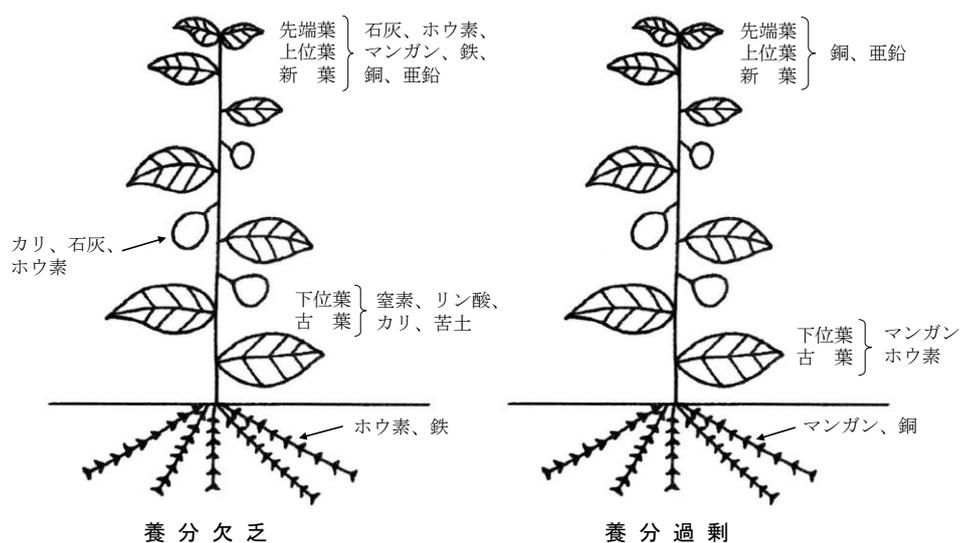


図1 養分欠乏・過剰の発現しやすい作物体部位
 (原色 要素障害診断事典、農文協、1990より引用、一部改変)

5) 土壌分析

- (1) 正確な判断のためには正常部と障害部をできるだけ段階別に分けて、土壌を採取・分析する。できれば、それぞれ株間と畦間の土があると良い。（このとき、重金属等による障害が想定される場合は、採土時・調製時とも金属用具は使わない。）
- (2) pH、EC：生土でとりあえずチェックする。
- (3) pHの影響：低pHあるいは高pHで欠乏症や過剰症を引き起こすことがある（表5）。

表5 欠乏・過剰障害の発生しやすい土壌条件
 (原色 要素障害診断事典、農文協、1990より引用、一部改変)

障害の種類	条件	土壌条件		
		土壌反応		可給態成分含量
		酸性	中性～アルカリ性	
発生しやすい欠乏	石灰、苦土 リン酸、ホウ素 (マンガン)	銅、亜鉛、鉄 マンガン、ホウ素	少量	
発生しやすい過剰	銅、亜鉛 マンガン ホウ素	—	多量	

()：例が少ないが発生することがある。

- 1) 窒素やカリは施用量が少ないと欠乏しやすく、多くなると過剰になりやすい。
- 2) カリと苦土は拮抗作用によって、いずれか一方が多く存在すると他方が適量存在しても欠乏を示すことがある。

(4) 風乾して土壌分析：分析結果を診断基準と比較して、過不足がないか検討する。ただし、土壌中に十分な養分があっても温度や水分の影響で栄養生理障害が出ることがあるので留意する。また、養分間の拮抗作用で欠乏症が出る場合がある（窒素－カリ、石灰－苦土、苦土－カリ等）。過去に土壌診断を行っている場合は、その分析値を参考に分析項目を絞り込んでも良い。

6) 作物体分析

- (1) 障害個体では各種成分が全般に低いことが多いので、一個体や葉一枚だけ分析して診断基準と比較しても判定はむずかしい場合が多い。
- (2) 無～軽～中～重と症状のレベルの異なる複数の個体や葉を分析すると、養分の高低に傾向が出る場合がある。ただし、作物体の一部分を分析する場合は、できるだけ同一部位で比較すること。

7) 基本的改善対策

欠乏障害に対する基本対策は、応急的には作物体への欠乏養分の葉面散布による治療、さらに、土壌の不溶化要因の除去、施肥により養分含量を適量まで高めること、肥料の偏用の是正等である（図2）。一方、過剰障害に対する基本対策は、欠乏障害と逆に可溶化要因を除去して過剰養分の不溶化を図るか、あるいはかん水量を多くして養分の流亡を図る、または過剰部分の除去や客土により根域を変える、天地返しにより養分濃度を薄める等である。

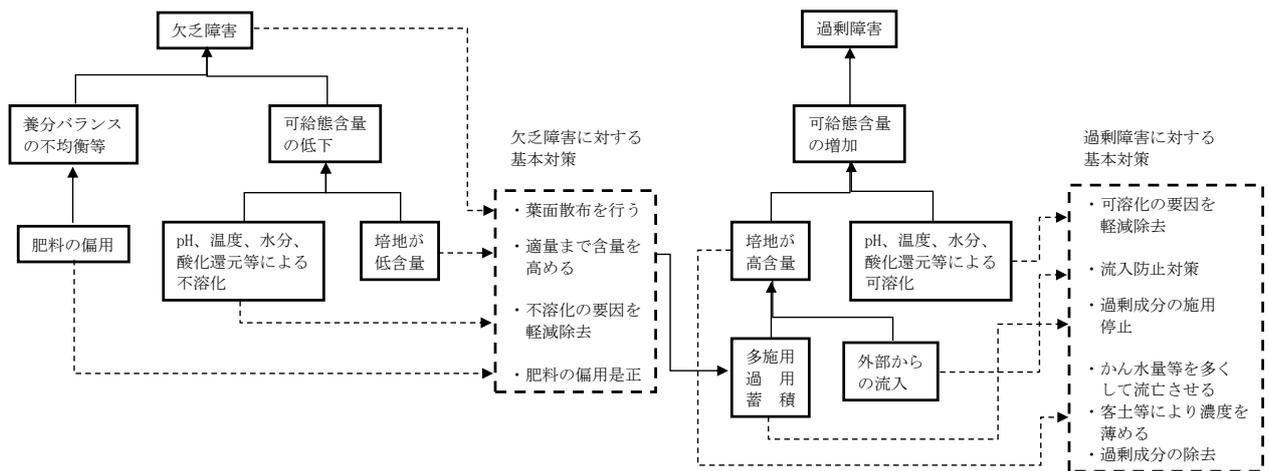


図2 栄養生理障害の発生要因と基本対策法
(原色 要素障害診断事典、農文協、1990より引用、一部改変)

4. 2 各養分の働きと欠乏・過剰の症状一覧

要素名	植物体内での役割	欠乏		過剰	
		症状	対策	症状	対策
窒素	1. 原形質の主成分であるタンパク質の構成成分 2. 光合成に必要な葉緑素、各種体内代謝を促進する酵素等の構成成分 3. 根の発育や茎葉の伸長を良くし、葉の緑色を良くする 4. 養分の吸収および同化作用を盛んにする	1. 植物全体が一様に緑色が減じ、特に葉の黄化が著しい 2. 植物体は矮小になり、分けつが減少する 3. 根の発達・伸長が鈍化する 4. 子実の成熟が早くなり、収量が少なくなる	<応急的対応> 1. 尿素溶液などの葉面散布 2. 硫酸などの窒素質肥料の追肥 <抜本的対策> 3. 堆肥施用による地力増進 4. 土壌診断に基づく施肥量の適正化	1. 葉は暗緑色となり、軟弱となり、病害虫、冷害などの抵抗性が減少する 2. 葉の伸長、分けつの増加が顕著で過繁茂となり、倒伏しやすい 3. 病害虫にかかりやすい 4. 出穂が遅延し、登熟不良のため品質が低下する	<応急的対応> 1. 分・追肥の中止 <抜本的対策> 2. 土壌診断に基づく施肥量の適正化 3. 堆肥の施用を控える
リン酸	1. 細胞膜成分のリン脂質、遺伝にあずかる核酸などの構成元素 2. 糖質と結合して呼吸に役立つ 3. ATP、ADPとして植物体内におけるエネルギー伝達 4. 根の伸長を良くし、発芽や分けつを促進する 5. 開花・結実を良くし、成熟を早め、品質を良くする	1. 欠乏症は一般に下葉より発生し、上葉に及ぶ 2. 葉の幅が狭くなり、茎や葉柄が紫色になる 3. イネ科植物では分けつが少なく、開花・結実も悪くなる 4. 果実類は甘味が少なくなると品質が落ちる 5. 根毛が粗大になり、発育不良となる	<応急的対応> 1. 第一リン酸カリウム溶液または第一リン酸カルシウム溶液の葉面散布 <抜本的対策> 2. 土壌pH改善 3. 堆肥施用による地力増進 4. リン酸質資材による土壌改良 5. 土壌診断に基づく施肥量の適正化	1. 過剰症は極めて発生しにくい 2. 成熟が早まり、減収する 3. 亜鉛・鉄・苦土・石灰欠乏を誘発する	<抜本的対策> 1. 土壌診断に基づく施肥量の適正化
カリ	1. 細胞液中でイオンとして存在し、炭水化物の合成、移動、蓄積に役立つ 2. 硝酸の吸収、体内での還元、タンパク質合成に関与する 3. 蒸散を調節し、体内の水分生理に関係している 4. 開花・結実を促進する 5. 根や茎を強くし、耐病性を高める	1. カリは移動しやすいので、欠乏症は古葉より発生する 2. 古葉の先端より黄化し、葉縁に広がり、その部分が褐色に枯死する 3. 新しい葉は暗緑色となり、伸びが悪く小葉となる 4. 根の伸びが悪く、根腐れが起きやすい 5. 果実の肥大が衰え、味、外観とも悪くなる	<応急的対応> 1. 第一リン酸カリウム溶液などの葉面散布 2. 硫酸カリなどのカリ質肥料の追肥 <抜本的対策> 3. 堆肥施用による地力増進 4. 土壌診断に基づく施肥量の適正化	1. 窒素と同様、過剰に吸収されやすいが、過剰症はでにくい 2. 土壌中のカリの過剰は苦土・石灰の吸収を抑制し、これらの欠乏症を促進する	<応急的対応> 1. 分・追肥の中止 <抜本的対策> 2. 土壌診断に基づく施肥量の適正化 3. 堆肥の施用を控える
石灰	1. 体内に過剰にある有機酸を中和する 2. ペクチンと結合して細胞膜を強くし、病気に強くなる 3. 根の発育を促進する	1. 生体内で移動しにくいので、欠乏症は新しい葉から発生する 2. 生長の盛んな若い葉の先端が白化し、やがて褐色に枯死する 3. 根の表皮にコルク層ができ、根が短く太くなる 4. 子実の成熟が妨げられる（トマトの尻腐れ、はくさい・セルリーなどの心腐れ）	<応急的対応> 1. 塩化カルシウム溶液または第一リン酸カルシウムの葉面散布 2. 土壌を適湿に保つ <抜本的対策> 3. 土壌pHおよび交換性石灰含量を勘案して石灰質資材を施用 4. 土壌診断に基づく窒素・カリの施肥量の適正化 5. 土壌の過乾を防止	1. 石灰の過剰症はでにくい 2. しかし、多量の石灰施用は苦土・リン酸の吸収も抑制する 3. マンガン・ホウ素・鉄・亜鉛などの欠乏症がやすくなる	<抜本的対策> 1. 石灰含有資材の施用を中止 2. 土壌pH改善

要素名	植物体内での役割	欠乏		過剰	
		症状	対策	症状	対策
苦土	1. 葉緑素の構成成分 2. リン酸の吸収、体内移動に関与する 3. 炭水化物代謝、リン酸代謝に関係している酵素の活性化。また、それら酵素の構成元素でもある 4. 油脂の合成を助ける	1. 葉緑素の形成が妨げられ、葉脈間がイネ科植物では筋状に、広葉植物では網目状に黄白化する 2. カリを多量に施用すると苦土欠乏が起きる 3. 果実のなっている付近の葉に欠乏がやすい	<応急的対応> 1. 硫酸マグネシウム溶液の葉面散布 <抜本的対策> 2. 交換性苦土含量が低い時は、苦土含有資材で補給。なお、土壌が酸性の場合は苦土石灰あるいは水酸化マグネシウム、pH6.0以上の場合には硫酸マグネシウムを施用すると良い 3. カリ過剰やリン酸の不足に注意する	1. 土壌中のMg/Ca比が高いと作物の生育阻害が起きる	<抜本的対策> 1. 苦土含有資材の施用を中止 2. 土壌pHおよび交換性石灰含量、Ca/Mg比を勘案して石灰質資材を施用
鉄	1. 葉緑素の生成に関与する 2. 植物体内で銅・マンガンなどと拮抗作用を有する 3. 鉄酵素として生体内の酸化還元反応に関与する	1. 葉緑素の生成が妨げられ、葉が黄白化する。欠乏症は上葉より発生する 2. リン・マンガン・銅の過剰吸収は鉄欠乏を助長する	<応急的対策> 1. 硫酸第一鉄溶液あるいは塩化第二鉄溶液の葉面散布 <抜本的対策> 2. 土壌pH改善	1. 多量の鉄資材の投与はリン酸の固定を増大し、その肥効を減じ、リン酸欠乏になる	<抜本的対策> 1. 土壌pH改善 2. 湿害対策 3. 有機物の施用を控える
マンガン	1. 酸化酵素の作用を助け、体内の酸化還元を触媒する 2. 葉緑素の生成、光合成などに関与する	1. イネ科植物では新葉が縞状に黄化し、さらに症状が進むと壊死を起こす。広葉植物では斑点状の黄化や壊死が起こる 2. 葉が小型になる	<応急的対策> 1. 硫酸マンガン溶液あるいは塩化マンガン溶液の葉面散布 <抜本的対策> 2. 土壌pH改善 3. マンガン含有資材の施用	1. 葉脈あるいは葉脈に沿ってチョコレート色に変色したり、葉脈間に黒褐色の斑点を生じやすい。この症状は古い葉にしやすい 2. マンガン過剰は鉄欠乏を誘発する	<抜本的対策> 1. マンガン含有資材の施用を中止 2. 土壌pH改善 3. 湿害対策
銅	1. 酸化還元酵素の構成成分 2. 呼吸に関与する 3. 葉緑素の形成に間接的に関与する 4. 鉄・亜鉛・マンガンのモリブデンと相互作用がある	1. 上葉はカップリング症状を呈したり、しおれたように垂れ下がる 2. 葉色は淡緑化する 3. 麦類では新葉が黄白化、褐変し、よじれる。穂は萎縮したり、葉鞘がら完全に抽出せず稔実が悪い 4. 果樹の枝枯れは銅欠乏とされ、若枝に水ぶくれ状の斑点を生ずる。また葉に黄色斑点ができる	<応急的対策> 1. 硫酸銅溶液などの葉面散布 <抜本的対策> 2. 土壌pH改善 3. 銅入り肥料を用いる 4. 硫酸銅などの銅含有資材の施用	1. 主根の伸長阻害、分岐根の発生が悪い 2. 銅過剰は鉄欠乏を誘発する 3. 生育不良となり、葉にネクロシスが現れる	<抜本的対策> 1. 銅入り肥料・資材の施用を中止 2. 土壌pH改善 3. 有機物の施用 4. リン酸質資材あるいは亜鉛含有資材の施用 5. 天地返しによる希釈 6. 客土による希釈あるいは排土客土
亜鉛	1. 酸化還元酵素の働きを助ける 2. タンパク質やデンプンの合成を助ける 3. オーキシンの先駆物質トリプトファン生成に関与する 4. 鉄・マンガンを拮抗作用を有する	1. 葉脈間が黄色になり、縞状が明瞭になる 2. 黄化は新葉から始まり、中葉に及ぶ。葉が小型化する 3. 葉は奇形を呈したり、外側に巻きやすい 4. 茎葉は硬くなる傾向を示す 5. 細根は発育不全となる	<応急的対策> 1. 硫酸亜鉛溶液などの葉面散布 <抜本的対策> 2. 土壌pH改善 3. 亜鉛入り肥料を用いる 4. 亜鉛含有資材の施用	1. 新葉に黄化現象が生じ、さらに葉、葉柄に赤褐色の斑点を生ずる 2. 亜鉛過剰は鉄欠乏を誘発する	<抜本的対策> 1. 亜鉛入り肥料・資材の施用を中止 2. 土壌pH改善 3. 天地返しによる希釈 4. 客土による希釈あるいは排土客土

要素名	植物体内での役割	欠乏		過剰	
		症状	対策	症状	対策
ホウ素	1. 水分・炭水化物・窒素の代謝に関与する 2. 石灰の吸収・転流に関与し、細胞膜ペクチンの形成と通導組織の維持を図る 3. 糖分の転流を助ける 4. 細胞の分裂や花粉の受粉を助ける	1. 生長点が止まり、もろくなって心止まり、心枯れとなる。なたねでは不稔粒が多くなる 2. 葉柄がコルク化する。茎や根の中心が黒くなる 3. 果実にヤニができたリ、コルク化が見られたりする 4. 根の伸長阻害、細根の発生が減少する	<応急的対策> 1. ホウ砂などの葉面散布 <抜本的対策> 2. ホウ素入り肥料を用いる 3. ホウ素含有資材の施用。ただし、ホウ素は施用適量の幅が狭く、過剰害もでやすいので、過施用にならないよう留意する	1. 葉縁が黄化し、ついで褐変する 2. 許容範囲が狭く、過剰症がでやすい	<抜本的対策> 1. ホウ素入り肥料・資材の施用を中止 2. 土壌pH改善 3. 天地返しによる希釈 4. 客土による希釈あるいは排土客土 5. 後作はホウ素耐性の強い作物を栽培
ニッケル	1. ウレアーゼ活性の発現に関与する 2. 酸化還元酵素の働きを助ける			1. 新葉にまだらな黄化現象が生じる 2. 葉脈間に白色あるいは赤色の斑点を生じる 3. イネ科植物では生育中期に葉が葉脈沿いに縞状に白化する 4. キャベツでは生育が著しく阻害されるが、イネ科植物では生育が回復することもある	<抜本的対策> 1. 土壌pH改善 2. 天地返しによる希釈 3. 客土による希釈あるいは排土客土 4. 後作はニッケル耐性の強い作物を栽培

4.3 (付表) 主な作物の無機成分含有率

作物	時期	部位	N (%)	P ₂ O ₅ (%)	K ₂ O (%)	CaO (%)	MgO (%)	S (%)	SiO ₂ (%)
水稻	出穂期	茎葉	1.2-2.0	0.6-1.0					
	成熟期	〃	0.5-1.2	0.2-0.4	1.5-3.0	0.3-1.0	0.2-0.4		7-14
秋まき小麦	越冬期	茎葉	3.5-4.5	0.5-1.0	2.0-2.6				
大豆		葉身	4.5-5.0	0.5-0.9	2.5-3.5	2.5-4.0	0.3-0.5		
小豆		葉身	3.5-6.0	0.5-1.2	2.5-4.0	1.2-2.0	0.5-0.8		
菜豆		葉身	4.0-4.5	0.5-0.8	3.5-4.0	1.0-2.0	0.3-0.5		
ばれいしょ		茎葉	2.5-3.5	0.5-1.0	6.0-9.0	2.5-4.0	0.5-1.0		
てん菜		葉身	3.5-5.0	0.5-1.0	2.5-6.0	0.3-1.2	0.5-1.5		
トマト	収穫開始期	葉身	2.5-4.0	0.6-0.9	5.0-7.0	2.0-5.0	0.5-1.3		
きゅうり		葉身	3.0-4.0	0.4-0.5	5.0-6.0	5.0-7.0	1.0-1.7		
ほうれん草		葉身	3.5-5.0	0.8-1.3	7.0-12.0	0.5-1.6	0.4-2.3		
なす	定植期	地上部	2.0-3.0	0.7-1.1	4.0-6.5	1.5-2.0	0.3-0.5		
メロン	収穫期	葉身	1.8-2.3	0.5-1.0	2.4-3.8	7.2-10.3	1.0-1.9		
キャベツ	収穫期	葉部	2.8-3.2	0.8-1.0	4.5-5.5	1.2-1.4	0.4		
はくさい	収穫期	葉部	3.0-5.0	1.5-2.5	5.0-6.0	1.2-1.7	0.3-0.4		
レタス		葉部							
にんじん		葉部	3.5-4.5	0.6-0.9	5-7	1.5-3.0	1.0-1.3		
だいこん		葉部	2.0-4.0	0.6-1.5	4.5-8.0	1.5-2.5	1.0-1.5		
たまねぎ		葉部	2.0-3.0	0.8-1.1	5.5-6.5	0.8-1.0	0.8-0.9		
アスパラガス		葉部	1.2-1.5	0.3	2.0-2.7	0.5-1.5	0.3-0.4		
りんご		葉部	2.0-2.8	0.5-1.0	1.0-2.5	1.8-2.6	0.5-0.7		
ぶどう		葉部	2.3-3.0	0.4-0.7	1.4-2.4	1.4-2.6	0.3-0.6		
イネ科牧草	収穫期	地上部	2.0-3.0	0.4-0.8	2.0-4.3	0.2-0.4	0.1-0.4	0.2-	
マメ科牧草	収穫期	地上部	3.0-5.0	0.4-1.2	2.0-4.3	1.4-2.6	0.3-0.8	0.2-	
飼料用モロコシ		茎葉	2.5-3.5	1.0-1.5	4.0-6.0				

作物	時期	部位	Mn (ppm)	B (ppm)	Cu (ppm)	Zn (ppm)	Fe (ppm)	Mo (ppm)	Ni (ppm)	Co (ppm)
水稻	出穂期	茎葉		3-8						
	成熟期	〃	500-2500		2-15	10-80	100-1000	0.5-4.0	2-15	5-15
秋まき小麦	越冬前	茎葉		4-	4-	14-	20-			
大豆		葉身		6-15	2-	10-25				
小豆		葉身		8-20	2-					
菜豆		葉身								
ばれいしょ		茎葉	100-300	30-80	5-25	50-250	75-	0.2-0.5	0.8-1.5	0.01-0.1
てん菜		葉身	30-	20-30	2-	12-	95-	0.5-		
トマト	収穫開始期	葉身	30-200	13-50	10-20	20-50	100-350	0.5-1.0	1.0-10.0	0.05-0.2
きゅうり		葉身	20-100	20-50	6-15	20-30	100-200	0.5-1.0	1.0-8.0	0.01
ほうれん草		葉身	50-250	15-20	10-15	50-150	300-600	1.0-2.0	1.5-2.5	0.1-0.3
なす	定植期	地上部								
メロン	収穫期	葉身								
キャベツ	収穫期	葉部	70-200	15-30	2-13	20-60	185-	0.05-	1.0-2.0	0.01
はくさい	収穫期	葉部		10-50	2-	13-		8.5-12.0		
レタス		葉部	120	5-	3-	20-	120	0.05-	0.1-2.0	0.01-0.1
にんじん		葉部	200-300	20-60	2-10	50-100		0.2-0.5	0.1-0.5	0.01
だいこん		葉部	30-100	40-70	5-10	15-70		0.5-2.0	1.0-1.5	0.2-0.5
たまねぎ		葉部				10-				
アスパラガス		葉部								
りんご		葉部	50-300	20-50	10-30	30-50		2-4	0.3-1.0	0.5-1.5
ぶどう		葉部	50-300	20-200	6-15			0.1-1.0	0.2-0.8	
イネ科牧草	収穫期	地上部	15-300	2-	4-	20-	20	0.1-		
マメ科牧草	収穫期	地上部	20-350	15-	4-	40-	45	0.5-		
飼料用モロコシ		茎葉	30-	4-	2-	10-	25-			

注1) 時期が記載されていないものは生育盛期

注2) 表の数字は目安であり、品種、作型、時期、部位等の変動する。

5. 参考文献・資料

●作物分析に関するもの

- 1) 作物分析法委員会編. “栽培植物分析測定法”. 養賢堂, 1975.
- 2) 農林水産省農蚕園芸局農産課編. “土壤環境基礎調査における土壤、水質および作物体分析法”. 1979.
- 3) 北条良夫、石塚潤爾編. “作物生理実験法”. 農業技術協会, 1985.
- 4) 植物栄養実験法編集委員会編. “植物栄養実験法”. 博友社, 1990.
- 5) (財) 日本土壤協会. “土壤機能モニタリングのための土壤、水質及び植物体分析法”. 2001.

●栄養生理障害に関するもの

- 1) 清水武. “原色 要素障害診断事典.” 第1版, 東京都, 農山漁村文化協会, 1990, p.1-257.
- 2) 高橋栄一ら. “新版 原色 作物の要素欠乏・過剰症”. 第8版, 東京都, 農山漁村文化協会, 1990, p.1-288.
- 3) 渡辺和彦. “原色 野菜の要素欠乏・過剰症”. 第1版, 東京都, 農山漁村文化協会, 1990, p.1-124.
- 4) 北海道原子力環境センター. “肉眼観察によるスイカの栄養障害診断法”. 平成9年普及奨励ならびに指導参考事項, 北海道農政部, 1997, p.267-270. および成績会議資料
- 5) 北海道原子力環境センター. “メロンの栄養障害・病虫害診断のためのビジュアル情報”. 平成10年普及奨励ならびに指導参考事項, 北海道農政部, 1998, p.44-45. および成績会議資料
- 6) 北海道原子力環境センター. “肉眼観察によるトマトの栄養障害診断法”. 平成12年普及奨励ならびに指導参考事項, 北海道農政部, 2000, p.204-206. および成績会議資料
- 7) 北海道原子力環境センター. “肉眼観察によるスイートコーンの栄養障害診断法”. 平成14年普及奨励ならびに指導参考事項, 北海道農政部, 2002, p.107-108. および成績会議資料
- 8) 北海道原子力環境センター. “肉眼観察によるいちごの栄養障害診断法”. 平成17年普及奨励ならびに指導参考事項, 北海道農政部, 2005, p.233-235. および成績会議資料

