4.3.2 く溶性加里

4.3.2.d ICP 発光分光分析法

(1) 概要

この試験法は肥料に適用する。この試験法の分類は Type D であり、その記号は 4.3.2.d-2026 又は C-K.d-2 とする。

分析試料にくえん酸溶液を加えて抽出し、ICP 発光分光分析装置(ICP-OES)に導入し、カリウムを波長 766.490 nm で測定して分析試料中のくえん酸溶液(20 g/L)可溶性加里(く溶性加里(C-K_2O))を求める。なお、この試験法の性能は**備考 8** に示す。

(2) 試薬 試薬は、次による。

a) 水: JIS K 0557 に規定する A3 の水。

b) 塩酸: 有害金属測定用、精密分析用又は同等の品質の試薬。

c) くえん酸溶液(1): JIS K 8283 に規定するくえん酸一水和物 20 g を水に溶かして 1000 mL とする。

d) カリウム標準液(K 1000 μg/mL): 国家計量標準にトレーサブルなカリウム標準液(K 1000 μg/mL)。

e) カリウム標準液(K 100 μg/mL)(1): カリウム標準液(K 1000 μg/mL)10 mL を 100 mL 全量フラスコにとり、標線まで塩酸(1+23)を加える。

f) 検量線用カリウム標準液(K 20 μg/mL～130 μg/mL)(1): カリウム標準液(K 1000 μg/mL)の 2 mL～13 mL を 100 mL 全量フラスコに段階的にとり、標線まで塩酸(1+23)を加える。

g) 検量線用カリウム標準液(K 2 μg/mL～20 μg/mL)(1): 検量線用カリウム標準液(K 100 μg/mL)の 2 mL～20 mL を 100 mL 全量フラスコに段階的にとり、標線まで塩酸(1+23)を加える。

h) 検量線用空試験液(1): **e)**～**g)**の操作で使用した塩酸(1+23)。

注(1) 調製例であり、必要に応じた量を調製する。

備考 1. (**2**)のカリウム標準液に換えて、国家計量標準にトレーサブルなカリウム標準液(K 100 μg/mL 又は 10000 μg/mL)を用いて検量線用カリウム標準液を調製することもできる。

備考 2. (**2**)のカリウム標準液(K)に換えて、次の方法で酸化カリウム標準液(K_2O)を調製することもできる。JIS K 8121 に規定する塩化カリウムを 110 °C±2 °C で約 2 時間加熱し、デシケーター中で放冷した後、1.583 g をひょう量皿にはかりとる。少量の水で溶かし、1000 mL 全量 フラスコに移し入れ、標線まで水を加え、酸化カリウム(K_2O)標準液(K_2O 1000 μg/mL)を調製する。これを全量フラスコに段階的にとり、標線まで塩酸(1+23)を加え、酸化カリウム(K_2O)として 2 μg/mL～160 μg/mL の検量線用酸化カリウム標準液を調製する。なお、この検量線で得られた測定値(K_2O)は、(**4.2**)**c**)**4**)に示した換算を要しない。

備考 3. ICP-OES は任意の波長において得られる指示値が、光の観測方式(横方向及び軸方向)や分光器の種類によって変動するため、使用する機器に適した検量線の濃度範囲が異なる。よって事前に使用する機器に適した検量線の濃度範囲を把握し、検量線用標準液を調製するとよい。

(3) 装置 装置は、次のとおりとする。

a) ICP 発光分光分析装置: JIS K 0116 に規定する発光分光分析装置。

1) ガス: 純度 99.5 %(体積分率)以上のアルゴンガス。

b) 抽出機器: 次の恒温上下転倒式回転振り混ぜ機又は水平往復振り混ぜ恒温水槽。

ba） **恒温上下転倒式回転振り混ぜ機**： 250 mL 全量フラスコを 30 °C±1 °C に調節できる恒温槽内で毎分 30 回転～40 回転で上下転倒して回転できるもの。

bb） **水平往復振り混ぜ恒温水槽**： 30 °C±1 °C に調節でき、振り混ぜラック等を用いて 250 mL 全量フラスコを水面に対して垂直に入れた状態で毎分 160 往復、振幅 25 mm～40 mm で水平往復振り混ぜできるもの。

（4） 試験操作

（4.1） 抽出 抽出は、次のとおり行う。

（4.1.1） 恒温上下転倒式回転振り混ぜ機を用いる場合

a） 分析試料 1 g を 1 mg の桁まではかりとり、250 mL 全量フラスコに入れる。

b） 約 30 °C に加温したくえん酸溶液 150 mL を加え(2)、毎分 30 回転～40 回転（30 °C±1 °C）で 1 時間振り混ぜる。

c） 速やかに水浴中等で冷却した後、標線まで水を加える。

d） ろ紙 3 種でろ過し、試料溶液とする。

注（2） 全量フラスコを緩やかに振り混ぜ、分析試料をくえん酸溶液に分散させる。

備考 4. （**4.1.1**）の操作で得た試料溶液は、附属書 B に示した成分にも適用できる。

（4.1.2） 水平往復振り混ぜ恒温水槽を用いる場合

a） 分析試料 1 g を 1 mg の桁まではかりとり、250 mL 全量フラスコ(3)に入れる。

b） 約 30 °C に加温したくえん酸溶液 150 mL を加え(2)、毎分 160 往復（振幅 25 mm～40 mm（30 °C±1 °C））で 1 時間振り混ぜる。

c） 速やかに水浴中等で冷却した後、標線まで水を加える。

d） ろ紙 3 種でろ過し、試料溶液とする。

注（3） 振り混ぜ状態を安定させるため、平らな底の 250 mL 全量フラスコを用いること。

備考 5. （**4.1.2**）の操作で得た試料溶液は、附属書 B に示した成分にも適用できる。

備考 6. 分析試料が 250 mL 全量フラスコの底部に固結していると測定値に影響するおそれがあることから、（**4.1.1**）**b**）及び（**4.1.2**）**b**）の操作後の不溶解物の状態を確認する。

（4.2） 測定 測定は、JIS K 0116 及び次のとおり行う。具体的な測定操作は、測定に使用する ICP 発光分光分析装置の操作方法による。

a） **ICP 発光分光分析装置の測定条件** ICP 発光分光分析装置の測定条件は、以下を参考にして設定する。

分析線波長： 766.490 nm

b） **検量線の作成**

1） 検量線用カリウム標準液及び検量線用空試験液を誘導結合プラズマ中に噴霧し、波長 766.490 nm の指示値を読み取る。

2） 検量線用カリウム標準液及び検量線用空試験液のカリウム濃度と指示値との検量線を作成する。

c） 試料の測定

1） 試料溶液の一定量を 100 mL 全量フラスコにとり、塩酸（1+23）となるように塩酸を加え、標線まで水を加える。

2） **b）1）**と同様に操作して指示値を読み取る。

3） 検量線からカリウム濃度を求め、分析試料中のカリウム濃度（K）を算出する。

4） 次の式によってく溶性加里（C-K_2O）を算出する。

分析試料中のく溶性加里（C-K_2O）（%（質量分率））
＝A×（94.20/（2×39.10））
＝A×1.205

A： 分析試料中のカリウム（K）（%（質量分率））

備考 7. 多元素同時測定が可能である ICP 発光分光分析装置では、附属書 C1 表 1 の測定条件を参考に検量線用標準液を調製し、（**4.2**）**b**）～**c**）と同様に操作し、得られた各元素濃度の測定値に換算係数を乗じて分析試料中の各主成分量を算出する。

なお、軸方向測定で測定する場合は、内標準元素としてリチウムを用いることを推奨する。その際は、カリウム（766.490 nm）及び内標準（リチウム（670.784 nm））のそれぞれの波長における指示値を測定し、カリウムの指示値と内標準の指示値との比を求め、分析試料中のく溶性加里（C-K_2O）を算出する。内標準としてリチウム以外を用いる場合は試験室において妥当性を確認すること。

備考 8. 真度の評価のため、化成肥料（9 点）、混合堆肥複合肥料（2 点）、指定配合肥料（1 点）、配合肥料（4 点）及び副産複合肥料（1 点）を用いて ICP 発光分光分析法の測定値（y_i： 3.57 %（質量分率）～34.24 %（質量分率））及びフレーム原子吸光法の測定値（x_i）を比較した結果、回帰式は y＝－0.0058＋1.0027x であり、その相関係数（r）は 0.999 であった。また、調製試料を用いて添加回収試験を実施した結果、0.329 %（質量分率）～63.18 %（質量分率）の添加レベルでの平均回収率は 98.0 %～100.3 %であった。

精度の評価のため、化成肥料及び配合肥料を用いた日を変えての分析結果について、一元配置分散分析を用いて解析し、併行精度及び中間精度を算出した結果を表 1 に示す。

なお、この試験法の定量下限は 0.09 %（質量分率）程度と推定された。

表1　く溶性加里の日を変えた試験成績の解析結果

試料名	日数[1] T	平均値[2] (%)[3]	併行精度 s_r[4] (%)[3]	併行精度 RSD_r[5] (%)	中間精度 $s_{I(T)}$[6] (%)[3]	中間精度 $RSD_{I(T)}$[7] (%)
化成肥料	7	16.17	0.13	0.8	0.15	1.0
配合肥料	7	4.42	0.04	1.0	0.04	1.6

1） 2点併行分析を実施した日数
2） 平均値（n= 日数（T）×併行数（2））
3） 質量分率
4） 併行標準偏差
5） 併行相対標準偏差
6） 中間標準偏差
7） 中間相対標準偏差

参考文献

1） 杉村 靖: 汎用的な機器を用いた肥料中のく溶性主成分の抽出方法, 肥料研究報告, **11**, 1~13 (2018)

2） 松尾信吾: ICP 発光分光分析（ICP-OES）法によるく溶性主成分の測定, 肥料研究報告, **11**, 14~28 (2018)

3） 奥西茉楠, 義本将之, 八木寿治, 増井亮太, 相良麻由, 青山恵介: アンモニア性窒素, 硝酸性窒素, く溶性加里及び水溶性加里の分析法の適用範囲確認（菌体りん酸肥料等） －単一試験室による妥当性確認－, 肥料研究報告, **19**, 1~18 (2026)

4） 青山恵介: ICP-OES を用いた肥料中のく溶性加里及び水溶性加里の分析法の改良, 肥料研究報告, **19**, 105~113 (2026)

（5） く溶性加里試験法フローシート 肥料中のく溶性加里試験法のフローシートを次に示す。

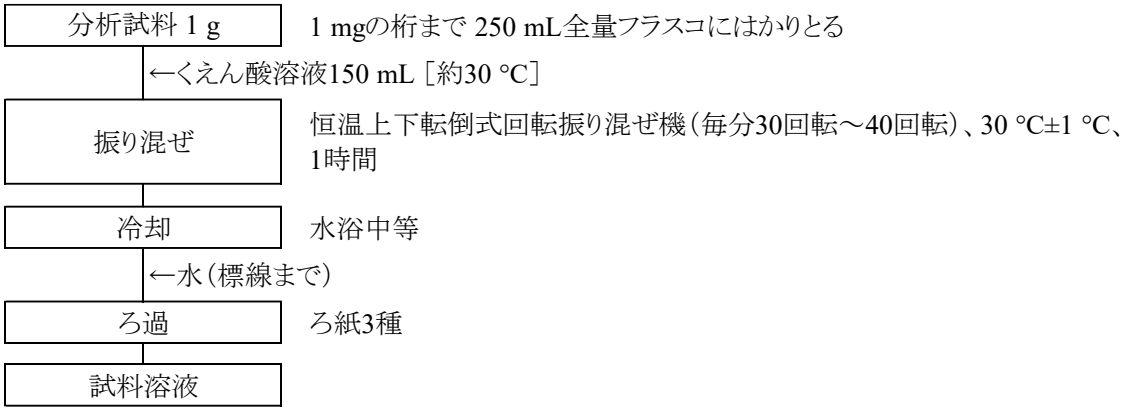


図1-1　肥料中のく溶性加里試験法フローシート（抽出操作4.1.1）

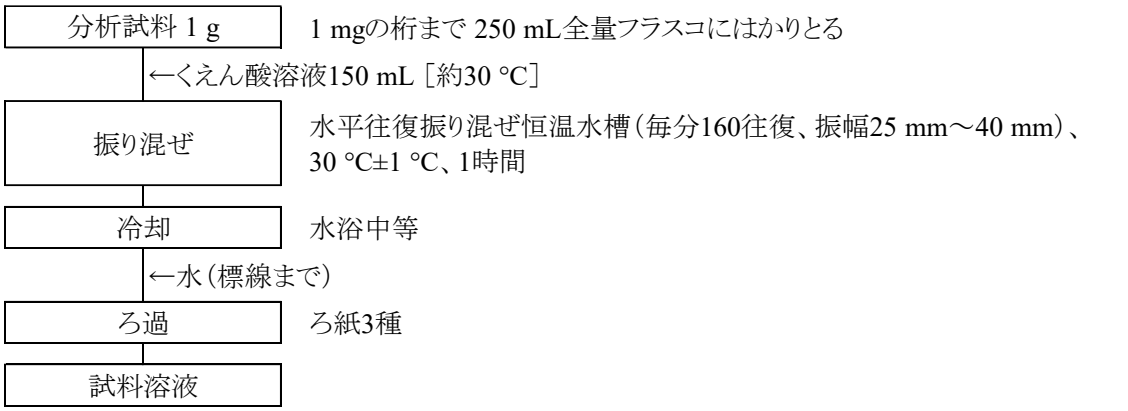


図1-2　肥料中のく溶性加里試験法フローシート（抽出操作4.1.2）

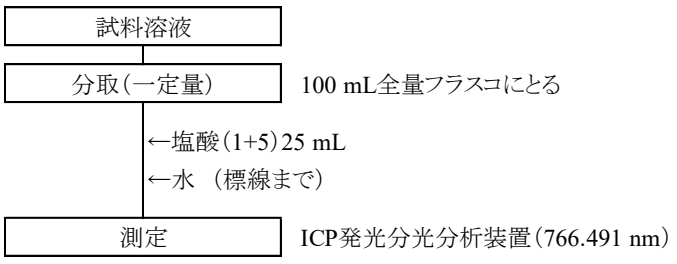


図2　肥料中のく溶性加里試験法フローシート（測定操作）