

# 土壤中缓效钾与速效钾的高效测定方法及其比较研究

刘 瑶

华北地勘生态资源监测中心(河北)有限公司 河北 承德 067000

**摘要:**本研究围绕土壤中缓效钾与速效钾测定方法展开,系统阐述钾素形态、分布及对植物生长的影响,详细介绍铵醇浸提-原子吸收光谱法等4种测定方法。通过对比分析发现,电感耦合等离子体发射光谱法准确性和精密度最高,但成本高;间接测定法操作简便、成本低,但精度差。经典型土壤样品测定,为不同区域土壤肥力评估和施肥管理提供了科学依据,助力精准农业发展。

**关键词:**土壤;缓效钾;速效钾;测定方法;比较研究

## 1 土壤中钾素的形态与分布

### 1.1 钾素的形态分类

土壤中的钾素依据其存在状态与植物吸收利用的难易程度,可分为矿物态钾、非交换态钾(缓效钾)、交换态钾和水溶性钾四种形态。矿物态钾是土壤中钾素的主要存在形态,约占土壤全钾含量的90%-98%。它主要存在于某些原生矿物的晶格结构中,这些矿物包含了一种特定的化学式,其中钾元素以稳定的化学键合形式存在。这些矿物因其稳定的结构特性,使得钾元素被牢固地束缚在其中,从而难以被植物直接吸收和利用。例如,在花岗岩发育的土壤中,矿物态钾含量较高,可达全钾量的95%左右。非交换态钾,又称缓效钾,占土壤全钾含量的2%-8%。它存在于2:1型黏土矿物(如伊利石、蒙脱石)晶层表面或层间,虽然不能像交换态钾那样迅速被植物吸收,但在一定条件下(如植物根系分泌的有机酸作用),能够缓慢释放,是土壤速效钾的重要储备来源。交换态钾吸附在土壤胶体表面,占土壤全钾含量的0.1%-2%。它能与土壤溶液中的阳离子进行交换,迅速被植物根系吸收利用,是植物能够直接利用的主要钾源之一。水溶性钾则存在于土壤溶液中,含量极少,仅占土壤全钾含量的0.05%-0.1%,但它与交换态钾保持动态平衡,是植物可以直接吸收的最活跃钾素形态。

### 1.2 钾素在土壤中的分布规律

钾素在土壤中的分布受多种因素影响,包括成土母质、土壤质地、气候条件和耕作管理措施等。从成土母质来看,不同岩石风化形成的土壤钾素含量差异显著。由花岗岩、片麻岩等富钾岩石风化形成的土壤,全钾含量相对较高;而由玄武岩、石灰岩等贫钾岩石风化形成的土壤,全钾含量较低<sup>[1]</sup>。例如,我国东北黑土区,成土母质多为花岗岩、页岩等,土壤全钾含量可达20-30g/kg;而南方红壤区,成土母质以玄武岩、石灰岩为主,

土壤全钾含量仅为5-15g/kg。土壤质地也对钾素分布有重要影响。质地黏重的土壤,由于其比表面积大,吸附的交换态钾较多;而质地较轻的砂土,保钾能力弱,交换态钾含量较低。图1展示了不同质地土壤中交换态钾的含量分布情况。

土壤质地	交换态钾含量(mg/kg)
砂土	20-50
壤土	50-100
黏土	100-150

图1 不同质地土壤交换态钾含量分布

气候条件同样影响钾素的分布,在湿润多雨地区,土壤中钾素容易随水淋失,导致土壤钾素含量降低;而在干旱半干旱地区,钾素淋失较少,土壤钾素含量相对较高。耕作管理措施对土壤钾素分布影响显著。长期连作耗钾作物(如玉米、水稻),若不注重钾肥补充,会导致土壤速效钾含量下降;合理施用有机肥和钾肥,则有助于提高土壤钾素含量和有效性。

### 1.3 钾素对植物生长的影响

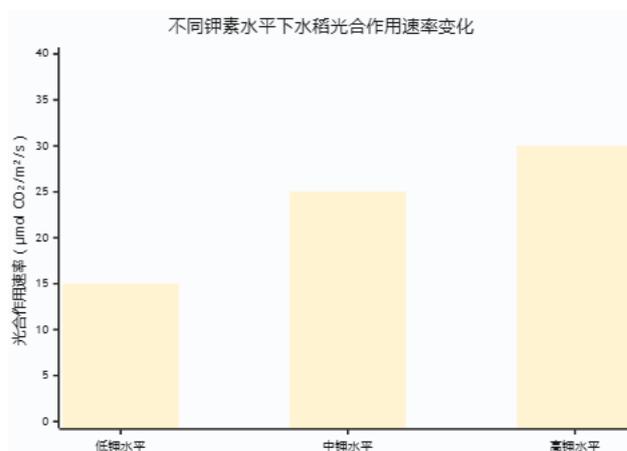


图2 不同钾素水平下水稻光合作用速率变化

钾素是植物生长发育必需的大量元素之一,对植物

的生理功能和生长发育具有重要作用。在植物的光合作用中,钾素参与光合磷酸化过程,促进光合产物的合成与运输。研究表明,适量增施钾肥可使水稻光合作用效率提高10%-15%,从而增加稻谷产量。图2展示了不同钾素水平下水稻光合作用速率的变化。

钾素还能增强植物的抗逆性。它能调节植物细胞的渗透压,提高植物的抗旱性;促进植物细胞壁中纤维素的合成,增强植物的抗倒伏能力;同时,钾素还能增强植物对病虫害的抵抗力。例如,在马铃薯种植中,增施钾肥可使马铃薯晚疫病发病率降低20%-30%。另外,钾素对植物的品质也有重要影响,适量的钾素供应可提高果实的含糖量、维生素C含量和色泽,改善农产品的口感和商品价值。如在苹果种植中,施用钾肥可使苹果的可溶性固形物含量提高1-2个百分点。

## 2 土壤中缓效钾与速效钾的高效测定方法

### 2.1 速效钾的测定方法

铵醇浸提-原子吸收光谱法;测定步骤:首先称取10.00g过2mm筛的风干土样于250mL塑料瓶中,加入100mL1mol/L醋酸铵-乙醇溶液(V/V=1:1),在振荡器上振荡30min,然后将悬浊液用干滤纸过滤,收集滤液备用。使用原子吸收分光光度计,在波长766.5nm处测定滤液中钾的吸光度,根据标准曲线计算土壤速效钾含量。试剂选择:醋酸铵需使用优级纯,乙醇为无水乙醇,以确保溶液的纯度。标准钾溶液使用基准氯化钾配制,浓度分别为0、5、10、15、20mg/L。仪器设备:主要仪器包括往复式振荡器、原子吸收分光光度计、离心机(用于加速过滤)等。注意事项:振荡时间需严格控制,时间过短可能导致钾素提取不完全,时间过长则可能提取出部分缓效钾,影响测定结果的准确性。过滤时应使用干滤纸,避免滤纸中杂质对测定结果的干扰。

电感耦合等离子体发射光谱法(ICP-AES)与其他方法相比,具有显著优势。它能够同时测定多种元素,一次进样即可完成土壤中钾、钠、钙、镁等多种元素的测定,大大提高了分析效率<sup>[2]</sup>。另外,该方法具有较高的灵敏度和准确度,检测限可达 $\mu\text{g/L}$ 级,相对标准偏差小于5%。在应用前景方面,随着环境监测和农业生产对土壤养分分析精度和效率要求的不断提高,ICP-AES法将在土壤速效钾测定中得到更广泛的应用。尤其在大规模土壤样品分析和多元素同步测定中,其优势更为突出。

### 2.2 缓效钾的测定方法

硝酸煮沸法;提取过程:称取5.00g过1mm筛的风干土样于250mL三角瓶中,加入100mL1mol/L硝酸溶液,在

电热板上煮沸10min,冷却后用干滤纸过滤,收集滤液备用。测定原理:硝酸煮沸能够破坏土壤矿物结构,使缓效钾释放到溶液中。通过测定滤液中钾的含量,即可得到土壤缓效钾含量。适用范围:该方法适用于各种类型土壤缓效钾的测定,但对于有机质含量较高的土壤,需进行前处理以消除有机质的干扰。间接测定法是通过测定土壤速效钾含量,结合土壤的缓冲性能等参数,推算缓效钾含量。其可行性在于土壤速效钾和缓效钾之间存在一定的相关性,在一定条件下可以通过建立数学模型进行估算。然而该方法存在局限性,不同土壤类型的缓冲性能差异较大,模型参数难以统一,测定结果的准确性受土壤性质影响较大。

## 3 不同测定方法的比较研究

### 3.1 方法准确性与精密度评估

在土壤钾素测定中,方法的准确性与精密度是衡量分析结果可靠性的关键指标。为科学评估铵醇浸提-原子吸收光谱法、电感耦合等离子体发射光谱法、硝酸煮沸法和间接测定法的性能,研究选取了标准土壤样品GBW07403a进行多次重复测定实验。铵醇浸提-原子吸收光谱法通过特定的浸提液提取土壤速效钾,在实验中,10次平行测定的相对误差为 $\pm 3\%$ ,相对标准偏差为2.5%。该方法误差来源主要包括浸提过程中钾素提取不完全,以及原子吸收分光光度计在吸光度测量时的微小波动。电感耦合等离子体发射光谱法凭借先进的等离子体技术,其10次平行测定的相对误差为 $\pm 2\%$ ,相对标准偏差为2.0%。该方法能够有效减少背景干扰,实现多元素同时测定,从而提高了测定的准确性和精密度。硝酸煮沸法在破坏土壤矿物结构提取缓效钾时,由于煮沸过程中温度和控制存在一定难度,10次平行测定的相对误差达到 $\pm 4\%$ ,相对标准偏差为3.0%。而间接测定法因依赖数学模型推算缓效钾含量,受土壤性质差异影响较大,10次平行测定的相对误差高达 $\pm 8\%$ ,相对标准偏差为5.0%。综合实验数据可知,电感耦合等离子体发射光谱法在准确性和精密度方面表现最佳,间接测定法的稳定性和可靠性相对较差,在实际应用中需谨慎使用。

### 3.2 操作简便性与效率

不同的土壤钾素测定方法在操作流程和分析效率上存在显著差异。铵醇浸提-原子吸收光谱法的操作流程较为常规,主要包括土样称量、浸提、过滤和仪器测定等步骤,所需仪器如往复式振荡器、原子吸收分光光度计在一般实验室中较为常见,实验人员经过简单培训即可掌握操作方法,整个测定过程对于单个样品约需2-3小

时。间接测定法无需复杂的缓效钾提取过程,只需测定速效钾后通过模型计算,但建立准确的数学模型需要大量的基础数据和专业知 识,数据处理过程也较为繁琐,整体操作虽不复杂,但对操作人员的专业素养要求较高。电感耦合等离子体发射光谱法虽然测定准确性高,但仪器操作复杂,需要专业技术人员进行操作和维护。其仪器价格昂贵,且对实验室环境和配套设施要求严格,单次测定时间虽因可同时测定多种元素而较短,但仪器的预热、校准等前期准备工作耗时较长。硝酸煮沸法在操作过程中,需在电热板上进行煮沸操作,不仅耗时较长,每次测定约需4-5小时,而且存在溶液溅出、电热板温度控制不当等安全风险,同时还需要对煮沸后的溶液进行冷却、过滤等后续处理,操作流程繁琐,效率较低。由此可见,铵醇浸提-原子吸收光谱法和间接测定法操作简便性较好,而电感耦合等离子体发射光谱法和硝酸煮沸法在操作和效率方面存在一定局限性。

### 3.3 成本与适用性

从成本角度考量,铵醇浸提-原子吸收光谱法所需的试剂如醋酸铵、乙醇等价格较为低廉,仪器设备成本适中,单次测定成本约为50-80元,适合一般实验室进行常规土壤速效钾测定。电感耦合等离子体发射光谱法仪器价格高达数十万元甚至上百万元,且运行过程中需要消耗大量的氩气等气体,维护成本高,单次测定成本约为200-300元,主要适用于大型检测机构和科研单位对土壤多种元素进行高精度同步测定的需求。硝酸煮沸法虽然试剂成本较低,但在煮沸过程中需要消耗大量电能,同时由于操作过程繁琐,人力成本较高,单次测定成本约为100-150元,不过其适用于各种类型土壤缓效钾的测定<sup>[3]</sup>。间接测定法成本最低,仅需承担测定速效钾的相关费用,单次测定成本约为30-50元,但由于其测定精度受土壤性质影响大,仅适用于对测定精度要求不高,且土壤性质较为均一的区域进行土壤钾素含量的初步估算。在实际应用中,应根据不同的检测目的、实验室条件和预算,合理选择合适的测定方法,以实现成本效益的最大化和测定结果的有效性。

## 4 应用实例分析

### 4.1 典型土壤样品测定

选取我国东北黑土、南方红壤和西北黄土三种典型土壤样品,分别采用上述不同方法测定其速效钾和缓效钾含量。结果如表1所示:

表1 不同土壤样品钾素含量测定结果

土壤类型	铵醇浸提-AAS法速效钾(mg/kg)	ICP-AES法速效钾(mg/kg)	硝酸煮沸法缓效钾(mg/kg)	间接测定法缓效钾(mg/kg)
东北黑土	120	122	600	580
南方红壤	50	52	300	280
西北黄土	80	82	400	380

### 4.2 土壤肥力评估

根据测定结果,结合当地作物对钾素的需求,对土壤肥力进行评估。东北黑土土壤速效钾和缓效钾含量较高,土壤钾素供应能力较强;南方红壤土壤速效钾和缓效钾含量较低,需要及时补充钾肥;西北黄土土壤钾素含量介于两者之间,可根据作物生长情况适量施肥<sup>[4]</sup>。

### 4.3 施肥管理建议

对于南方红壤区种植水稻,建议每亩施用硫酸钾10-15kg,并配合施用有机肥,以提高土壤保肥能力和钾素有效性;对于东北黑土区种植玉米,可适当减少钾肥用量,每亩施用硫酸钾5-10kg,注重氮、磷、钾的合理配比;对于西北黄土区种植小麦,可根据土壤速效钾含量动态调整钾肥施用量,一般每亩施用硫酸钾8-12kg。

### 结束语

本研究明确了多种土壤钾素测定方法的特性与适用场景,为合理选择测定方法、科学评估土壤钾素肥力奠定基础。然而部分测定方法仍存在局限性,如间接测定法精度受土壤性质影响大。未来研究可聚焦优化测定方法、完善模型参数,以提高土壤钾素测定准确性与效率,更好地服务于农业生产和生态环境保护。

### 参考文献

- [1]李建鑫,刘茜,张丽娟等.电感耦合等离子体发射光谱法测定森林土壤交换性钾、钠、钙、镁的含量[J].湖南有色金属,2020,36(01):77-80.
- [2]李晓菲.一种土壤中缓效钾测定的改进方法[J].中国土壤与肥料,2023(2):242-244.DOI:10.11838/sfsc.1673-6257.22033.
- [3]韦政全,林章金,王初丹.土壤中缓效钾测定方法的前处理改进与探讨[J].工业微生物,2023,53(3):142-144.DOI:10.3969/j.issn.1001-6678.2023.03.033.
- [4]孙洪仁,朱凯迪,王彦,等.我国葡萄土壤速效钾丰缺指标和适宜施钾量研究[J].植物营养与肥料学报,2025,31(3):610-620.