

甘薯不同氯离子测定方法的比较研究*

戚冰洁² 汪吉东¹ 张永春^{1†} 徐阳春² 宁运旺¹ 许仙菊¹
张辉¹ 马洪波¹

(1 江苏省农业科学院农业资源与环境研究所,农业部江苏耕地保育科学观测实验站,南京 210014)

(2 南京农业大学资源与环境科学学院,南京 210095)

摘要 采用加标回收率的方法,分析并比较了硝酸银滴定法、紫外分光光度法和自动电位滴定法测定甘薯(*Ipomoea batatas* L.) 幼苗 Cl^- 含量的结果,并初步探明不同甘薯品种地上部和根系 Cl^- 吸收和分布规律。结果表明:(1)硝酸银滴定法重复性差且难以判断滴定终点;紫外分光光度法测定 Cl^- 回收率低(52.9%~81.4%),且受样品浸提液颜色影响;自动电位滴定法 Cl^- 回收率为 93.9%~105.5%,相对标准偏差(RSD)为 0.6%~6.0%,且该方法操作简单、重复性好且精确度高,因此是测定甘薯氯含量的最佳方法;(2)利用自动电位滴定法测定不同甘薯品种 Cl^- 积累和分布,结果显示:甘薯幼苗地上部 Cl^- 含量为 0.067~0.096 mmol g^{-1} DW,根系 Cl^- 含量为 0.038~0.087 mmol g^{-1} DW,品种间甘薯幼苗地上部和根系 Cl^- 含量皆存在显著差异。不同品种向地上部转运 Cl^- 选择性比率均大于 1.0,表明 Cl^- 向地上部聚集,以菜用型福薯 7-6 比率最高,紫心型徐紫 20-1 和浙紫 1 号次之,淀粉型泉薯 9 号最低。

关键词 自动电位滴定法; Cl^- 含量;甘薯; Cl^- 分布

中图分类号 S531 **文献标识码** A

氯是植物必需的微量营养元素,过量与不足均会导致植物生长不良。植物对 Cl^- 的需求较低,土壤中 Cl^- 含量一般均超过植物生长需求量,因此,相对于 Cl^- 不足而言,土壤中过量 Cl^- 造成的毒害作用,是植物遭受逆境胁迫的常见问题^[1]。

植物内 Cl^- 含量的测定是评价植物氯营养状况的最有效方法^[2]。目前 Cl^- 含量测定方法有:硝酸银滴定法,分光光度法,自动电位滴定法,离子色谱法,原子吸收法,离子选择电极法,流动注射法等。其中硝酸银滴定法又称莫尔法,是植物 Cl^- 含量测定的经典方法^[3],但存在测定 Cl^- 含量低样品时误差较大,且难以判断滴定终点等缺点^[4];离子色谱法,原子吸收法和流动注射法灵敏度高,误差较小,能够短时间内测定大量样品,但对仪器要求较高^[5-7];分光光度法灵敏度高,重现性好,方法简便、快速^[8];离子选择电极法使用氯离子选择电极,使用寿命较短,且易吸附氯化银沉淀,清洗较难;自动电位滴定法的指示电极为银电极,该电极结构简

单,具有经久耐用,易于清洗等特点^[9-10]。

甘薯(*Ipomoea batatas* L.) 属耐氯较弱作物^[11],不同甘薯品种苗期 Cl^- 积累及分布规律尚不清楚。本文采用自动电位滴定法、硝酸银滴定法和紫外分光光度法,在测定 Cl^- 含量回收率的基础上比较三种方法之间差异和优缺点,并初步探明 4 种类型 6 个品种甘薯苗期 Cl^- 分布及积累特征,以期甘薯的氯素营养及其胁迫提供理论与技术支撑。

1 材料与方法

1.1 供试材料

选取食用型品种烟薯 25(Y25);淀粉型品种徐薯 22(X22)和泉薯 9 号(Q9);菜用型品种福薯 7-6(F7-6);紫心型品种徐紫 20-1(X20-1)和浙紫 1 号(Z1),共 6 个甘薯品种(系),材料由江苏徐州甘薯研究中心提供。

剪心叶以下 3~4 个茎节的甘薯苗,扦插在有孔

* 国家现代农业产业技术体系建设专项资金项目(CARS-11-B-15)、公益性行业农业专项(200903001-1,201203013)和 IPNI 国际合作项目(JIANGSU-11)共同资助

† 通讯作者:张永春,男,研究员,从事土壤质量管理、植物营养与施肥等方面研究工作。E-mail: yczhang66@sina.com

作者简介:戚冰洁(1988—),女,江苏徐州人,硕士研究生,主要从事植物营养研究。E-mail: qibingjie880121@163.com

收稿日期:2012-05-25;收到修改稿日期:2012-09-24

隙的泡沫板中固定。将泡沫板置于 57 cm × 39 cm × 10 cm (长 × 宽 × 高) 的周转箱上, 每箱 35 株, 箱中装入 14 L 去离子水配成的 1/2 Hoagland 完全营养液 (液面高 6.3 cm), 于温室中培养。培养条件为: 昼/夜温度 (30 ± 2) °C / (23 ± 2) °C, 相对湿度 60% ± 5%。待发根正常后, 选取生长良好、长势基本一致的幼苗转入 Hoagland 营养液进行培养。整个培养过程自然光照, 每天补充去离子水至标记液面刻度, 用 HCl 调节培养液 pH 5.5 ~ 6.0, 每隔 3d 更换 1 次营养液, 并早晚各通气 0.5 h。培养 20 d 后取样进行各项指标的测定, 每个处理 3 次重复。

1.2 测定方法

1.2.1 样品浸提及测定方法 材料处理和氯离子提取参照於丙军等^[12]方法: 在 105 °C 杀青 30 min 后于 75 °C 烘干至恒重, 样品磨碎过筛 (30 目)。由于甘薯苗期植株生物量小, 烘干后样品质量低, 称取样品改为 0.080 0 ~ 0.100 0 g, 记录样品质量。加入 20 ml 去离子水, 沸水浴 1.5 h, 冷却后定容至 50 ml。

硝酸银滴定法 (莫尔法) 参照於丙军等^[13]方法, 以含 4.2% (w/v) K₂CrO₄ 和 0.7% (w/v) K₂Cr₂O₇ 的中性指示剂取代 0.5% K₂CrO₄。将 8 mmol L⁻¹ AgNO₃ 浓度改为 4 mmol L⁻¹ 作为滴定剂。滴定标准 Cl⁻ 溶液时, 用 NaCl 配制 0 ~ 0.5 mmol L⁻¹ 浓度梯度标准溶液各 10 ml, 分别加入 100 μl 指示剂, 以 4 mmol L⁻¹ AgNO₃ 溶液进行滴定。测定样品时, 加入 10 ml 浸提液, 其余测定步骤不变。

紫外分光光度法参照周强等^[2]方法, 将分光光度计改为紫外分光光度计 (SPECTROPHOTOMETER, UV-2800) 测定 300 nm 处吸光度值。取 1 mmol L⁻¹ 的标准 Cl⁻ 溶液 0、1.0、2.0、4.0、6.0、8.0 和 10.0 ml 置于 50 ml 容量瓶中, 分别加入 25 ml 去离子水、1.0 ml 明胶-乙醇溶液、0.5 ml HNO₃ 溶液 (浓 HNO₃ 和去离子水 1:2 (v/v) 配制) 和 0.5 ml 20 g L⁻¹ AgNO₃ 溶液。定容、混匀后即得 0、0.02、0.04、0.08、0.12、0.16、0.20 mmol L⁻¹ 浓度梯度标准溶液。置于暗处 10 min, 在 300 nm 处测定吸光度值, 得到标准曲线。测定样品时, 吸取 5 ml 浸提液于 50 ml 容量瓶中, 其余测定步骤不变。

1.2.2 自动电位滴定法 实验前银电极 (216 型) 在蒸馏水中浸泡 24 h, 然后用 1 mmol L⁻¹ AgNO₃ 溶液浸泡 20 ~ 30 min 将电极活化; 双盐桥饱和甘汞参比电极 (217 型) 外盐桥注入 1 mol L⁻¹ KNO₃ 溶液。

滴定终点的确定: 吸取 5 mmol L⁻¹ NaCl 溶液 4 ml 于 100 ml 小烧杯中, 加入 2 ml HNO₃ 溶液 (浓 HNO₃ 和去离子水 1:1 (v/v) 配制), 用去离子水稀释至 10 ml, 然后加入 30 ml 无水乙醇。放入搅拌子, 调节适当的搅拌速度, 插入银电极和参比电极, 用 4 mmol L⁻¹ AgNO₃ 溶液开始滴定。随着 AgNO₃ 的加入电位会不断发生改变, 电位变化由小到大再到小, 电位变化较小时即可停止滴定。记录消耗的 AgNO₃ 体积以及相应电位变化, 重复 3 次。计算滴定终点。

Cl⁻ 标准溶液和样品的测定: 5 mmol L⁻¹ NaCl 标准溶液分别吸取 0、0.5、1.0、2.0、3.0、4.0 和 5.0 ml 于 100 ml 小烧杯中, 即得 0、0.002 5、0.005、0.01、0.015、0.02、0.025 mmol L⁻¹ 的 NaCl 标准溶液, 其余步骤不变, 待仪器自动滴定结束后, 记录消耗的 AgNO₃ 体积。测定样品时, 加入 10 ml 待测液, 其余测定步骤不变。

1.2.3 甘薯幼苗 Cl⁻ 含量的测定 不同品种甘薯幼苗地上部和根系 Cl⁻ 含量的测定采用自动电位滴定法 (上海雷磁, ZD-2 型自动电位滴定仪)。按下述公式计算离子向地上部运输 Cl⁻ 选择性比率 (selectivity ratio, S_{Cl⁻}): S_{Cl⁻} = (地上部 Cl⁻) / (根系 Cl⁻)。

1.3 统计方法

使用 SPSS16.0 对测定结果进行统计分析, 其中不同方法测定结果的比较使用单因素方差分析 (One-Way ANOVA)。

2 结果

2.1 自动电位滴定法终点确定

利用自动电位滴定法测定 Cl⁻ 含量, 首先应确定以 4 mmol L⁻¹ 的 AgNO₃ 溶液作为滴定剂的终点电位。横坐标代表 AgNO₃ 的体积 (V), 纵坐标代表电位 (E), 绘制 E-V 曲线 (图 1A)。对于 Cl⁻ 含量较低的样品, 加入无水乙醇能有效降低溶液的初始电位, 提高电极对终点电位突跃的感应能力, 降低检出限, 提高检验准确性^[14], 因此设定无水乙醇和样品 3:1 (v/v), 由图 1A 可看出 E-V 曲线在电位值 200 ~ 300 mV 处有明显的突跃。

图 1B 是 E-V 的二阶微商曲线, 由图中可知, 当二阶微商 $\Delta^2 E / \Delta V^2 = 0$ 时, 即为滴定终点。设终点电位为 E_终, 计算公式为:

$$\frac{[(\Delta^2 E / \Delta V^2)_+ - (\Delta^2 E / \Delta V^2)_-]}{E_+ - E_-} = \frac{(\Delta^2 E / \Delta V^2)_+ - 0}{E_{终} - E_+}$$

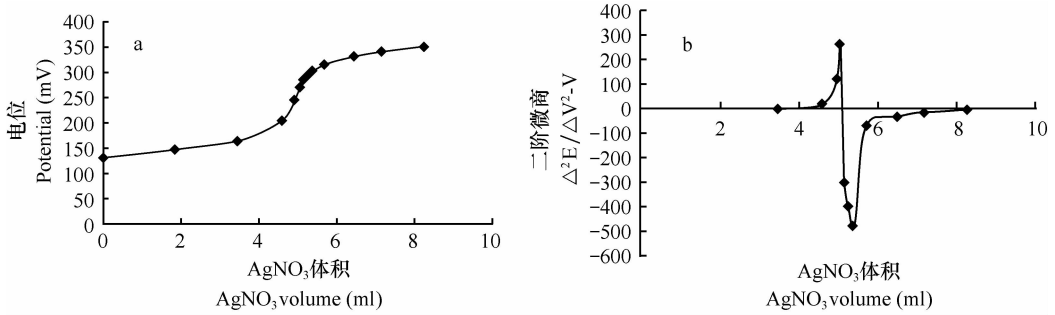
图1 E-V 曲线(A)和 $\Delta^2 E/\Delta V^2-V$ 曲线(B)

Fig. 1 E-V (A) and its second-order differential curves (B)

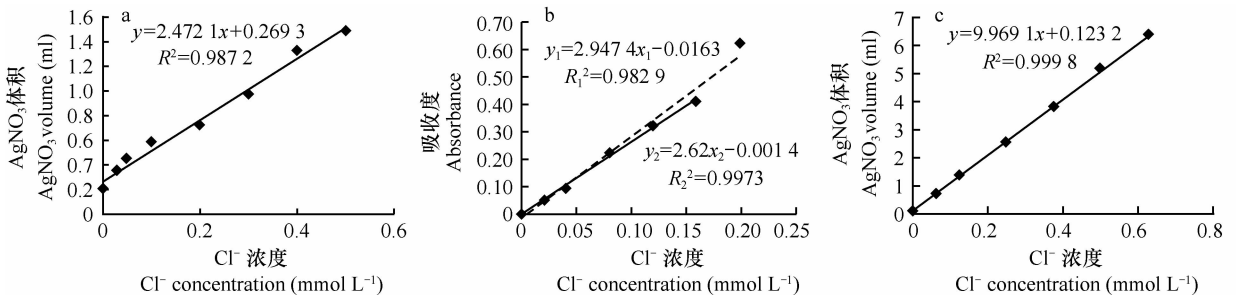
式中, $(\Delta^2 E/\Delta V^2)_+$ 代表二阶微商过 0 点前的正值; $(\Delta^2 E/\Delta V^2)_-$ 代表二阶微商过 0 点后的负值; E_+ 代表二阶微商正值对应的电位值; E_- 代表二阶微商负值对应的电位值。经计算终点电位 $E_{\text{终}} = 275 \text{ mV}$ 。

2.2 不同测定方法标准 Cl^- 溶液滴定曲线的比较

硝酸银滴定法(图 2A)与自动电位滴定法(图 2C)消耗 AgNO_3 溶液体积与标准 Cl^- 溶液浓度呈极显著线性关系:其中自动电位滴定法(以下简称 C)的相关系数($r = 0.9999$)大于硝酸银滴定法(以下简称 A)的相关系数($r = 0.9936$)。相同标准 Cl^- 溶液浓度范围($0 \sim 0.5 \text{ mmol L}^{-1}$)和相同 AgNO_3 浓度(4 mmol L^{-1})下, A 消耗 AgNO_3 体积在 $0.2 \sim 1.48 \text{ ml}$,

C 消耗 AgNO_3 体积在 $0.125 \sim 5.15 \text{ ml}$, 这是因为 A 的 Cl^- 标准溶液体积为 10 ml , 而 C 的 Cl^- 标准溶液体积为 40 ml , 所以相同浓度的滴定剂条件下, 消耗 AgNO_3 体积不同。由图中可看出 A 和 C 的标准曲线均不过原点, 且 A 的线性方程截距(0.2693)大于 C 的截距(0.1232), 表明 C 测定 Cl^- 含量较低样品优于 A。

紫外分光光度法(图 2B)在标准 Cl^- 溶液浓度范围为 $0 \sim 0.16 \text{ mmol L}^{-1}$ 下, 消耗 AgNO_3 溶液体积与标准 Cl^- 溶液浓度呈显著线性关系, 相关系数 $r_2 = 0.9986$; 当 Cl^- 浓度 $> 0.16 \text{ mmol L}^{-1}$ 时, 相关系数显著降低($r_1 = 0.9914$)^[2], 表明该方法测 Cl^- 浓度范围在 $0 \sim 0.16 \text{ mmol L}^{-1}$ 最佳。



注: 图B虚线代表 Cl^- 浓度在 $0 \sim 0.20 \text{ mmol L}^{-1}$ 的趋势线, 实线代表 Cl^- 浓度在 $0 \sim 0.16 \text{ mmol L}^{-1}$ 的趋势线 Note: The dotted line indicates that Cl^- concentration in the range of $0 \sim 0.20 \text{ mmol L}^{-1}$, and the solid line indicates that Cl^- concentration in the range of $0 \sim 0.16 \text{ mmol L}^{-1}$ for Figure B

图2 硝酸银滴定法(A)、紫外分光光度法(B)和自动电位滴定法(C)的标准曲线

Fig. 2 Calibration curve of the silver nitrate titration method (A), ultraviolet spectrophotometry (B) and automatic potentiometric titration method (C)

2.3 不同测定方法加标回收率的比较

为验证三种方法的可靠性, 取样品浸提液 10 ml , 加入 $1 \text{ ml } 0.2 \text{ mmol L}^{-1} \text{ NaCl}$ 标准溶液, 分别用三种方法测定 Cl^- 含量, 并计算加标回收率, 结果显示(表 1): 硝酸银滴定法测定甘薯地上部 Cl^- 回收率在 $86.7\% \sim 99.6\%$, 根系 Cl^- 回收率在 $85.3\% \sim 132.9\%$, 且相对标准偏差(RSD)在 $2.1\% \sim 22.7\%$,

不同品种间根系样品回收率差异较大; 紫外分光光度法测定不同品种甘薯地上部 Cl^- 回收率 $73.3\% \sim 80.2\%$, 平均为 78.1% , 而根系回收率 $52.9\% \sim 66.2\%$, 平均仅为 59.2% 。自动电位滴定法测定地上部和根系回收率均在 $93.9\% \sim 105.5\%$, RSD 在 $0.6\% \sim 6.0\%$, 重复性好, 表明该方法精确度、可靠性较好。

表 1 三种方法对甘薯地上部和根系氯离子加标回收率(%)的比较

Table 1 Comparison between the three methods in Cl^- recovery rate (standard addition) of sweet potato seedlings

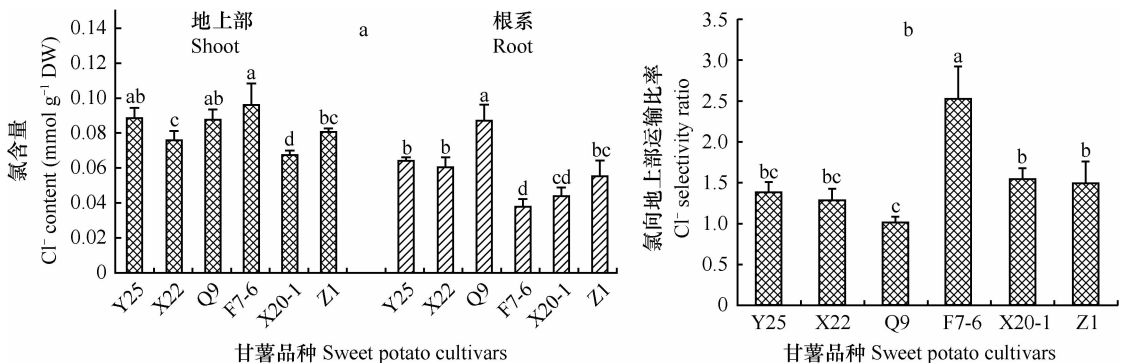
测定方法 Method	植株部位 Position	甘薯品种 Sweet potato cultivars					
		烟薯 25	徐薯 22	泉薯 9 号	福薯 7-6	徐紫 20-1	浙紫 1 号
		Yanshu No. 25	Xushu No. 22	Quanshu No. 9	Fushu No. 7-6	Xuzi No. 20-1	Zhezi No. 1
硝酸银滴定法 Silver nitrate titration	地上部 Shoot	86.7%	94.6%	90.3%	99.6%	98.1%	93.9%
		(8.6)	(8.5)	(12.0)	(22.7)	(10.0)	(7.6)
	根系 Root	100.7%	98.4%	94.3%	132.9%	85.3%	110.9%
		(5.3)	(18.8)	(9.9)	(2.1)	(13.8)	(17.6)
紫外分光光度法 Ultraviolet spectrophotometry	地上部 Shoot	76.5%	81.4%	79.3%	80.2%	77.5%	73.3%
		(5.2)	(0.8)	(1.8)	(16.2)	(1.9)	(8.6)
	根系 Root	57.4%	55.9%	66.2%	52.9%	63.2%	59.8%
		(9.1)	(2.4)	(8.4)	(23.2)	(4.5)	(1.5)
自动电位滴定法 Automatic potentiometric titration	地上部 Shoot	100.5%	99.2%	93.9%	105.5%	96.2%	99.2%
		(2.5)	(0.7)	(3.7)	(2.0)	(1.5)	(1.2)
	根系 Root	97.1%	102.0%	98.4%	100.7%	95.5%	99.2%
		(2.1)	(0.6)	(6.0)	(1.4)	(1.1)	(1.2)

注:表中所列数值为样品平行测定平均值,括号中为相对标准偏差(RSD/%) Note: The values in the table are means of parallel determinations and the figures in parenthesis are relative standard deviations (RSD/%)

2.4 甘薯氯离子含量及其分布

自动电位滴定法测定 Cl^- 含量结果表明(图 3A),不同品种甘薯幼苗地上部和根系 Cl^- 含量存在显著差异。地上部 Cl^- 含量在 $0.067 \sim 0.096 \text{ mmol g}^{-1} \text{ DW}$, 菜用型福薯 7-6 Cl^- 含量最高,紫心型徐紫 20-1 含量最低;根系 Cl^- 含量在 $0.038 \sim 0.087 \text{ mmol g}^{-1} \text{ DW}$, 淀粉型泉薯 9 号 Cl^- 含量最高,菜用型福薯 7-6 最

低。不同甘薯幼苗地上部和根系 Cl^- 含量的比值(图 3B),即 Cl^- 向地上部运输比率均大于 1.0,说明 Cl^- 从根部向地上部聚集。但品种间向地上部转运 Cl^- 能力存在显著差异:菜用型福薯 7-6 向地上部转运 Cl^- 比率最高,达到 2.54;紫心型徐紫 20-1 和浙紫 1 号次之,分别达到 1.53 和 1.49;淀粉型泉薯 9 号最低,比值为 1.01。

图 3 自动电位滴定法测定甘薯幼苗地上部和根系 Cl^- 含量(A)和 Cl^- 向地上部转运能力(B)Fig. 3 Cl^- content (A) and the capability of translocating Cl^- from root to shoot (B) of sweet potato seedlings determined with the automatic potentiometric titration method

3 讨论

硝酸银滴定法是测定植株 Cl^- 含量的经典方法,该方法实验操作简便,所需仪器设备简单。硝

酸银滴定法标准曲线相关系数 $r = 0.9936$ (图 2A),表明该方法测得的 Cl^- 含量与 AgNO_3 呈线性关系,但三种方法中相关系数最低。测定 6 个品种甘薯幼苗地上部和根系 Cl^- 回收率(表 1)在 $85.3\% \sim 132.9\%$,说明该方法具有一定的可靠性,但回收率

变化幅度较大且重复性较差。其可能原因:(1)受检测限影响该方法仅适用 Cl^- 含量较高样品;(2)仅适用于较澄清水样,对带色样品检验结果重现性差^[15];(3)由于判断滴定终点的砖红色沉淀会在黄色反应液中变为棕黄色,滴定终点不易判断。

紫外分光光度法在 $0 \sim 0.16 \text{ mmol L}^{-1} \text{ Cl}^-$ 浓度和吸光度值之间有良好的线性关系(图 2B),且测定 NaCl 标准溶液时具有灵敏度高、重现性好等优点。但不同品种甘薯回收试验结果显示(表 1),地上部和根系 Cl^- 平均回收率分别为 78.1% 和 59.2%,该结果与周强等研究结果^[2]不符。这可能是因为吸光度值受到样品浸提液颜色影响,浸提液呈澄清黄褐色溶液,品种间样品浸提液颜色亦存在差异,颜色越深吸光度值越大,因而造成加标回收率结果较差。因此,该方法仍需要对浸提液进行脱色或其他方面的改进。

自动电位滴定法常用于卤化物的定量分析^[16],其工作原理是滴定过程中指示电极电位不断变化,在化学计量点附近离子浓度发生突跃,根据测得电位变化可确定终点。由图 1A 可看出,滴定过程中电位变化有明显的突跃,利用二阶微商法计算出终点电位为 275 mV。自动电位滴定法标准 Cl^- 溶液滴定曲线(图 2C)相关系数在三种方法中最高($r = 0.9999$),线性相关程度最好。本研究中,自动电位滴定法测定 Cl^- 回收率在 93.9%~105.5%(表 2),相对标准偏差(RSD)在 0.6%~6.0%,表明自动电位滴定法在三种方法之中准确度和精密度最高。该方法具有不受待测液颜色、浑浊度影响,无需人为判断滴定终点的优点^[17-18]。

氯是高等植物生长发育所必需的微量元素之一, Cl^- 参与细胞和液泡内外的渗透调节和膨压维持,还调节细胞质中一些酶的活性^[19]。植物体内的 Cl 主要以 Cl^- 形式存在,通过共质体(主动和被动吸收)和质外体(被动吸收)两种途径进入根细胞并向木质部运输,其中共质体途径占主导地位^[20]。相对 Cl^- 亏缺而言,土壤中 Cl 过量而造成离子毒害是作物常见问题,尤其是在盐(NaCl)胁迫下。甘薯属忌氯作物,植株体内积累过量的氯离子会导致生长发育受损。本研究中,自动电位滴定法测定不同品种甘薯幼苗 Cl^- 积累和分布结果表明, Cl^- 由根部向植株地上部转移(图 3B),这与 Ashraf 和 Orooj 研究结果^[21]相符。且品种间地上部和根系 Cl^- 含量,以及 Cl^- 向地上部转运能力存在显著差异(图 3)。已有研究表明^[22],耐盐植物和盐敏感植物的耐盐差异

表现为抑制 Cl^- 向地上部转运能力,并促使这些离子在液泡中积累,降低 Cl^- 在细胞质或者细胞壁中的浓度,从而减轻盐分毒害作用。菜用型福薯 7-6 向地上部转运 Cl^- 比率最高,紫心型徐紫 20-1 和浙紫 1 号次之,淀粉型泉薯 9 号最低(图 3B)。暗示不同用途型甘薯可能对氯胁迫的响应规律及再分配存在显著差异,其机理仍需进一步研究。

4 小 结

硝酸银滴定法、紫外分光光度法和自动电位滴定法的标准 Cl^- 溶液滴定曲线的相关系数相比,自动电位滴定法最高。紫外分光光度法 Cl^- 测定范围在 $0 \sim 0.16 \text{ mmol L}^{-1}$ 为佳。

硝酸银滴定法具有一定可靠性,但难以判断滴定终点、重复性差且对 Cl^- 含量较低样品的测定误差较大;紫外分光光度法受样品浸提液颜色影响, Cl^- 回收率较低;自动电位滴定法操作简单、精密度高、重现性好,适用于甘薯植株 Cl^- 含量的分析测定。

本试验中选取 6 种不同用途型甘薯幼苗 Cl^- 分布和积累表明,菜用型福薯 7-6 向地上部转运 Cl^- 能力最高,紫心型徐紫 20-1 和浙紫 1 号次之,淀粉型泉薯 9 号最低。

参 考 文 献

- [1] Ashraf M, Ahmad S. Influence of sodium chloride on ion accumulation, yield components and fibre characteristics in salt-tolerant and salt-sensitive lines of cotton (*Gossypium hirsutum* L.). *Field Crops Research*, 2000, 66(2): 115—127
- [2] 周强,李萍,曹金花,等. 测定植物体内氯离子含量的滴定法和分光光度法比较. *植物生理学通讯*, 2007, 43(6): 1163—1166. Zhou Q, Li P, Cao J H, et al. Comparison on titration and spectrophotometric methods for determination of chloride content in plants (In Chinese). *Plant Physiology Communications*, 2007, 43(6): 1163—1166
- [3] Pérez-Olmos R, Herrero R, Lima J L F C, et al. Sequential potentiometric determination of chloride and nitrate in meat products. *Food Chemistry*, 1997, 59(2): 305—311
- [4] Comrie G W. Potentiometric determination of chlorides in molasses. *Proceedings of the South African Sugar Technologists' Association*, 1969: 151—155
- [5] Biesaga M, Schmidt N, Seubert A. Coupled ion chromatography for the determination of chloride, phosphate and sulphate in concentrated nitric acid. *Journal of Chromatography A*, 2004, 1026(1/2): 195—200
- [6] Esmadi F T, Kharoaf M A, Attiyat A S. Indirect determination of

- chloride and carbonate by reversed flow-injection analysis coupled with atomic-absorption spectrometry and in-line preconcentration by precipitation. *Talanta*, 1990, 37(12): 1123—1128
- [7] Andrade-Eiroa A, Erustes J A, Forteza R. Determination of chloride by multisyringe flow injection analysis and sequential injection analysis with potentiometric detection. *Analytica Chimica Acta*, 2002, 467(1/2): 25—33
- [8] Venkatesan P, Subrahmanyam P V R S S, Raghu Pratap D. Spectrophotometric determination of pure amitriptyline hydrochloride through ligand exchange on mercuric ion. *International Journal of ChemTech Research*, 2010, 2(1): 54—56
- [9] Lambert R S, Du Bois R J. Spectrophotometric determination of nitrate in the presence of chloride. *Analytical Chemistry*, 1971, 43(7): 955—957
- [10] 丘山, 丘圣, 丘星初. 水和废水中氯离子的自动电位滴定. *中国环境监测*, 2010, 26(5): 32—34. Qiu S, Qiu S, Qiu X C. Determination of chloride ions in water and wastewater by automatic potentiometric titration (In Chinese). *Environmental Monitoring in China*, 2010, 26(5): 32—34
- [11] 毛知耘, 周则芳, 石孝均, 等. 论植物氯素营养与含氯化肥的施用. *化肥工业*, 1998, 25(3): 10—18. Mao Z Y, Zhou Z F, Shi X J, et al. On chlorine for plant nutrition and application of chlorine-containing chemical fertilizers (In Chinese). *Chemical Fertilizer Industry*, 1998, 25(3): 10—18
- [12] 於丙军, 罗庆云, 曹爱忠, 等. 栽培大豆和野生大豆耐盐性及离子效应的比较. *植物资源与环境学报*, 2001, 10(1): 25—29. Yu B J, Luo Q Y, Cao A Z, et al. Comparison of salt tolerance and ion effect in cultivated and wild soybean (In Chinese). *Journal of Plant Resources and Environment*, 2001, 10(1): 25—29
- [13] 於丙军, 罗庆云, 刘友良. 盐胁迫对盐生野大豆生长和离子分布的影响. *作物学报*, 2001, 27(6): 776—780. Yu B J, Luo Q Y, Liu Y L. Effects of salt stress on growth and ionic distribution of salt-born *Glycine soja* (In Chinese). *Acta Agronomica Sinica*, 2001, 27(6): 776—780
- [14] Saunders L, Srivastava R S. The potentiometric titration of alkaloidal salts. *Journal of Pharmacy Pharmacology*, 1951, 3(1): 78—86
- [15] Anderson L J. Conductometric titration of chloride in sea water and marine sediments. *Analytical Chemistry*, 1948, 20(7): 618—619
- [16] Ni Y N, Wu A G. Simultaneous determination of halide and thiocyanate ions by potentiometric precipitation titration and multivariate calibration. *Analytica Chimica Acta*, 1999, 390(1/3): 117—123
- [17] Ibañez-García N, Machado Gonçalves R D, da Rocha Z M, et al. LTCC meso-analytical system for chloride ion determination in drinking waters. *Sensors and Actuators B: Chemical*, 2006, 118(1/2): 67—72
- [18] Santos E, Montenegro M C B S M, Couto C, et al. Sequential injection analysis of chloride and nitrate in waters with improved accuracy using potentiometric detection. *Talanta*, 2004, 63(3): 721—727
- [19] White P J, Broadley M R. Chloride in soils and its uptake and movement within the plant: A review. *Annals of Botany*, 2001, 88(6): 967—988
- [20] 於丙军, 刘友良. 植物中的氯、氯通道和耐氯性. *植物学通报*, 2004, 21(4): 402—410. Yu B J, Liu Y L. Chlorine, chloride channel and chlorine tolerance in plants (In Chinese). *Chinese Bulletin of Botany*, 2004, 21(4): 402—410
- [21] Ashraf M, Orooj A. Salt stress effects on growth, ion accumulation and seed oil concentration in an arid zone traditional medicinal plant *ajwain* (*Trachyspermum ammi* [L.] Sprague). *Journal of Arid Environments*, 2006, 64(2): 209—220
- [22] Munns R. Comparative physiology of salt and water stress. *Plant, Cell & Environment*, 2002, 25(2): 239—250

COMPARISON AND VALIDATION OF DIFFERENT METHODS FOR DETERMINATION OF CHLORIDE IN SWEET POTATOES (*IPOMOEA BATATAS* L.) DIFFERENT IN CULTIVAR

Qi Bingjie^{1,2} Wang Jidong¹ Zhang Yongchun^{1†} Xu Yangchun² Ning Yunwang¹
Xu Xianju¹ Zhang Hui¹ Ma Hongbo¹

(1 Institute of Agricultural Resources and Environment, Jiangsu Academy of Agriculture Sciences, Scientific Observation and Experimental Station of Farmland Conversation and Cultivation in Jiangsu, Ministry of Agriculture, Nanjing 210014, China)

(2 College of Resources and Environmental Science, Nanjing Agricultural University, Nanjing 210095, China)

Abstract Using the recovery (standard addition) method, analysis for comparison was done of the silver nitrate titration method, the ultraviolet spectrophotometry method and the automatic potentiometric titration method, used in determining chloride contents in sweet potato seedlings of six different cultivars, and chloride absorption and distribution in shoots and roots of these sweet potatoes explored. Results show that the silver nitrate titration method was low in reproducibility and it was also hard to determine when to end the titration; the ultraviolet spectrophotometry was low in chloride re-

covery, ranging from 52.9% to 81.4%, and analysis of samples was influenced by the color of sample extraction solvent; whilst the automatic potentiometric titration method was high in chloride recovery rate, reaching high in the range from 93.9% to 105.5% with relative standard deviation being 0.6%~6.0%, and moreover, the method was simple to use, good in reproducibility and high in accuracy. Therefore, the automatic potentiometric titration method is the best one in determination of chloride in sweet potato. Chloride accumulation and distribution were determined of these sweet potato samples, using the automatic potentiometric titration method. Results show that chloride contents ranged from 0.067 to 0.096 mmol g⁻¹ DW in shoot and 0.038 to 0.087 mmol g⁻¹ DW in root. Significant differences were found between different cultivars in chloride contents in shoot and in root. The selectivity ratios of Cl⁻ translocation from root to shoot of the sweet potatoes were all above 1.0 regardless of cultivars, indicating that chloride tends to accumulate in shoot. The cultivar of leafyvegetable sweet potato (Fushu No.7—6) was the highest in selectivity ratio, and followed by Xuze No.20—1 and Zhezi No.1, and the cultivar of starchy sweet potato (Quanshu No.9) the lowest.

Key words Automatic potentiometric titration; Chloride ion content; Sweet potato; Chloride ion distribution

(责任编辑:陈德明)