

# 土壤供硅能力评价方法研究的历史回顾与展望

刘鸣达, 张玉龙<sup>\*</sup>, 陈温福

(沈阳农业大学土地与环境学院, 沈阳 110161)

**摘要:** 本文综述了土壤供 Si 能力评价方法的研究历史与现状, 比较了这些方法的优缺点。经典的 1 mol/L 醋酸-醋酸钠 (pH 4.0) 缓冲液提取法不适于评价 pH 较高土壤的供 Si 能力, 以水或稀氯化钙溶液为提取剂的方法能够解决这一问题, 但存在繁琐、费时等缺点。围绕着建立评价广泛 pH 范围土壤供 Si 能力的通用方法开展相关研究将是今后的重点。

**关键词:** 土壤; 有效硅; 供硅能力; 评价方法; 浸提剂

**中图分类号:** S151.9

硅 (Si) 在地壳中的含量居第 2 位, 丰度为 29.50%, 主要以硅酸盐矿物和石英矿的形式存在于自然界中。大多数的陆地生态系统和海洋生态系统中都存在着 Si 的生物循环。由于 Si 无处不在, 且化学形态具有多变性, 至今很难证明它是否为植物的必需元素。

研究表明, Si 对于水稻、甘蔗、柑橘、小麦、玉米、花生、黄瓜、番茄、草莓等许多作物的生长发育具有重要作用, 适量供 Si 可以促进水稻生长发育, 提高光能利用率, 改善呼吸作用, 降低蒸腾作用, 增强抗逆性, 调节作物对某些养分的吸收和利用<sup>[1-7]</sup>。目前, 各国学者开始从介观 (纳米) 和微观的水平研究 Si 在植物中的生物矿化过程<sup>[8]</sup>, 以期揭示 Si 在植物生长发育过程中的重要作用。

作物生长发育所需 Si 素主要来源于土壤。通常高产水稻一个生长季可从土壤中吸收带走 Si (SiO<sub>2</sub>) 75 ~ 130 kg/hm<sup>2</sup><sup>[1]</sup>, 甘蔗则需 380 kg/hm<sup>2</sup><sup>[2]</sup>。随着作物种植集约化程度和产量水平的提高, 加上淋溶渗漏损失, 长期下去, 就会引起土壤 Si 素匮乏, 进而影响作物高产稳产。因此, 研究土壤供 Si 能力具有重要的意义。

在生产实践中, 通常采取分析化验植株和土壤中 Si 的含量来判断土壤的供 Si 能力。从理论上讲, 利用植株 Si 素分析的结果评价土壤供 Si 能力比较可靠。但由于作物品种及其生长条件的差异, 很难

获得可比性适宜的植株样本。以水稻为例, 不同的国家和地区应用茎叶含 Si 量 (SiO<sub>2</sub>) 进行 Si 素营养诊断的标准差异很大, 如日本为 <11%, 中国南方为 <10%, 而中国台湾地区早稻为 <9%, 晚稻为 <8%。早期在锡兰 (斯里兰卡) 的调查表明, 该地区多数水稻植株含 Si 量都低于 8%, 而且只有在土壤有效 Si 低于 8 mg/kg (SiO<sub>2</sub>) 的情况下, 稻草含 Si 量才明显下降<sup>[9]</sup>; 又如上海地区进行的试验表明, 8 个试验点的水稻稻草含 Si 量 (SiO<sub>2</sub>) 低于 6.28%, 但仅有两个点施 Si 增产幅度达到统计学的显著水平<sup>[10]</sup>。同时, 由于植株分析一般在水稻生育期内进行, 所以即使发现缺 Si, 对当季水稻生产也于事无补。此外, 对水稻而言, 灌溉水的 Si 素分析仅能作综合判断土壤 Si 素丰缺的补充说明。所以, 土壤分析在生产实践中显得更为重要。

## 1 土壤供硅能力评价方法研究的历史回顾

从历史来看, 有关土壤供 Si 能力评价方法的研究可以划分为以下几个阶段。

### 1.1 初步探索阶段

通常采取测定土壤有效 Si 含量的方法来评价土壤供 Si 能力。土壤有效 Si 是一个农业化学意义的概念, 是指能被当季作物吸收利用的所有来自于土壤中的 Si, 一般用特定的浸提剂提取。有效 Si 提取方法的发展与施用含 Si 物料改良土壤的实践密切相

①基金项目: 辽宁省科学技术基金项目 (971068) 和辽宁省博士启动基金项目 (20031051) 资助。

\* 通讯作者

作者简介: 刘鸣达 (1970—), 男, 内蒙古赤峰人, 博士, 副教授, 主要从事土壤改良、土壤肥力及农业环境与生态方面的教学和科研工作。E-mail: mdsausoil@163.com

关。早期人们认为热带地区土壤供 Si 能力低就是因高度风化和淋溶所致。如夏威夷地区土壤全 Si ( $\text{SiO}_2$ ) 仅在 2.4%~17.4%之间<sup>[11]</sup>, 土壤全 Si 含量如此低, 有效 Si 含量肯定也不会太高, 所以在这些地区, 全 Si 含量在一定程度上反映土壤的供 Si 能力。以后, 随着农业生产特别是稻作生产实践的发展, 人们认识到土壤全 Si 含量的高低与水稻生长发育对 Si 的需求量之间并无明显相关关系; 而连续多年种稻以及淋溶渗漏使 Si 被大量吸收带走或淋失, 才是造成土壤供 Si 能力低下的主要原因。开始人们认为土壤中易溶于稀碱性水溶液的硅酸是被水稻吸收的有效形态<sup>[12]</sup>, 但以后的研究表明, 在供 Si 能力低的老朽化水田土壤上, 能溶于 2% 碳酸钠水溶液的硅酸比一般供 Si 能力较高的稻田还要多<sup>[13]</sup>。说明不能以此评价土壤供 Si 能力。随着对老朽化水田和泥炭地水田的深入研究<sup>[14-15]</sup>与各种含 Si 肥料的广泛应用, 确定评价土壤供 Si 能力的科学方法就变得十分必要了。

## 1.2 广泛研究阶段

20 世纪 50 年代以后, 各国学者在土壤供 Si 能力评价方法方面开展了广泛的研究。测定土壤有效 Si 的方法因浸提剂不同分为多种。实际上, 这些浸提剂主要有两类: 一类是弱酸或弱酸性缓冲溶液, 另一类是水或稀氯化钙溶液。从历史上看, 在 20 世纪 60 年代末以前, 应用的浸提剂主要为弱酸或弱酸性缓冲溶液。特别是今泉吉郎和吉田昌一<sup>[13]</sup>于 1958 年提出的 1 mol/L 醋酸-醋酸钠 (pH4) 缓冲液提取法, 由于在许多试验中应用该法测得的有效 Si 含量与 Si 肥的增产率及稻草的含 Si 量相关性较好, 加上提出时间较早, 应用的人比较多, 而且在一些国家和地区都已根据生产实践制定了相应的丰缺标准, 所以人们一直将其视为基本方法。同年, 川口桂三郎等<sup>[16]</sup>提出 0.2 mol/L 盐酸提取法, 并认为提取出的 Si 或 Si、Al 的比率能够更好地反映土壤供 Si 能力。目前这种方法已很少应用。1959 年上田和雄与山岡熟<sup>[17]</sup>提出了 0.025 mol/L 柠檬酸提取法。此后, Nayar 等<sup>[18]</sup>和张效朴与臧惠林<sup>[19]</sup>分别对这种方法进行了全面的比较和相关研究, 发现提取出的 Si 与稻草含 Si 量具有很高的相关性。张效朴与臧惠林<sup>[19]</sup>还提出将 Dyer 最早倡导的提取土壤速效 P、K 的 1% 柠檬酸用于提取土壤有效 Si, 并从提取时间、温度等方面进行了深入细致的研究。但最近应用这

种方法评价水田土壤供 Si 能力时, 也出现了一些问题<sup>[10]</sup>。1967 年 Fox 等<sup>[11]</sup>提出了硫酸-硫酸铵溶液提取法、磷酸二氢钙-醋酸缓冲液提取法和醋酸铵-醋酸缓冲液提取法, 同时也提出了以水提取有效 Si 的方法, 并认为 4 种方法均可用于评价土壤供 Si 能力。但这些方法应用并不广泛。与此同时, 国际水稻研究所也曾提出以水为浸提剂的渗透法<sup>[20]</sup>, 但在这一时期, 关于以水作为土壤有效 Si 浸提剂的方法并未受到人们的重视。

从 20 世纪 60 年代末至 70 年代末, 有关土壤供 Si 能力评价方法的研究集中于已有不同方法的比较和制定地区性土壤有效 Si 丰缺标准方面<sup>[21]</sup>, 总的结论是 1 mol/L 醋酸-醋酸钠 (pH 4.0) 缓冲液提取法是适用于各地区评价土壤供 Si 能力的通用方法。到了 20 世纪 70 年代末 80 年代初, 水田施用矿渣 Si 肥的技术已在日本得到广泛推广, Si 肥施用量达到历史上的高峰<sup>[22]</sup>。在已施用过矿渣的水田中如何科学施用 Si 肥成为生产实践中一个亟待解决的问题, 这时人们发现 1 mol/L 醋酸-醋酸钠 (pH 4.0) 缓冲液提取法不适于评价施用过矿渣的水田土壤的供 Si 能力<sup>[23]</sup>。此后, 随着 Si 肥在我国各地稻作区的广泛应用, 一些学者相继发现这种方法也不适于评价富含碳酸钙的水田土壤和碱性水田土壤的供 Si 能力<sup>[7, 24-26]</sup>。如图 1 所示, 在沈阳地区不同 pH 土壤上获得的水稻相对产量与土壤有效 Si 含量之间竟然出现了极显著的二次函数相关关系。这会得出该地区土壤 Si 素丰缺指标存在 2 个临界值的错误结论。其中, 有效 Si 含量超过 250 mg/kg 而施用 Si 肥增产效果明显的 2 种土壤均偏碱性, pH 高者达到 8.80<sup>[26]</sup>。这种

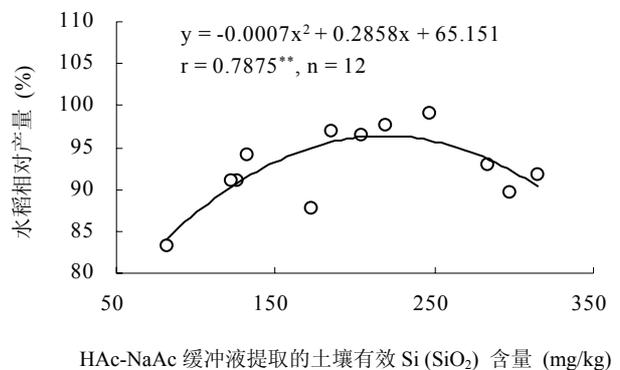


图 1 Si 肥肥效与不同 pH 土壤有效 Si 含量的关系 (在 2 种碱性土壤中)

Fig. 1 Yield response of rice to Si-fertilizer in relation to available Si in soils different in pH

情况被归结为醋酸缓冲液的 pH 过低, 将残存于土壤的矿渣中的无效态 Si 或高 pH 土壤中与 Ca 等结合的非活性 Si 提取出来的缘故<sup>[7, 23-24]</sup>。还有人提出中国北方水田土壤 Si 素丰缺标准为 250 mg/kg<sup>[5]</sup>, 但这一标准应用于酸性和中性水田土壤又显得过高。也有研究表明<sup>[27]</sup>, 2% 碳酸钠溶液、0.5 mol/L 碳酸氢钠溶液和 1 mol/L 醋酸-醋酸钠 (pH 4.0) 缓冲液均可以作为石灰性旱田土壤有效 Si 浸提剂。但总的看来, 多数研究者认为 1 mol/L 醋酸-醋酸钠 (pH 4.0) 缓冲液作为碱性土壤有效 Si 提取剂具有一定的局限性。

### 1.3 深入探讨阶段

针对上述情况, 一些学者从水稻是生长在淹水条件下的作物这一特点出发, 认为在还原条件下土壤溶液中单硅酸的数量可能会反映土壤实际的供 Si 能力, 而用水作为浸提剂可以模拟田间的实际情况。陆续提出了淹水保温静置法<sup>[23]</sup>、上清液法<sup>[28]</sup>、土壤溶液法<sup>[29]</sup>、易溶出硅酸测定法<sup>[30]</sup>、逐次上清液法<sup>[31]</sup>、淹水连续浸提法<sup>[24]</sup>和吸附等温线法<sup>[26]</sup>。淹水保温静置法还被选入由日本土壤肥料学会修订的 1986 年版《土壤标准分析·测定法》中。这样, 有关水田土壤供 Si 能力的研究进入到一个新的阶段。

淹水保温静置法与上清液法都是将供试土样在一定条件下淹水培养, 然后测定上清液中 Si 的含量, 其差别主要在于培养时间和温度的不同。逐次上清液法是通过定量地模拟水稻不断吸收利用土壤溶液中 Si 的动态过程来评价土壤供 Si 能力的一种方法。其作法是将上清液法加以改进, 采取抽取上清液测定 Si 含量, 然后补足蒸馏水, 培养, 再次测定上清液中 Si 的办法, 如此定期逐次重复上述操作, 最终用指数曲线来描述土壤中 Si 的释放规律。通常将上清液法测得的 Si 视为土壤供 Si 能力的强度指标, 而将逐次上清液法测得的 Si 看作是土壤供 Si 能力的容量指标<sup>[32]</sup>。马同生等<sup>[24]</sup>提出的淹水连续提取法与逐次上清液法相比, 可能与田间的实际情况偏离稍大一些, 但其优点在于提高了实验的效率。同时, 采取这两种方法也能够了解水田土壤 Si 素的释放过程及其特征。易溶出硅酸法是选取 0 ~ 100 mg/L 6 种浓度的 Si 平衡液 (以氯化钙作为支持电解质) 进行土壤 Si 素的等温吸附试验。所谓的易溶出 Si 是应用吸附等温线外推得到的, 在数量上与直线型吸附等温线在纵轴上的截距相等, 是反映土壤供 Si 容

量的一个指标, 能够很好地评价土壤的供 Si 能力。吸附等温线法与易溶出硅酸法基本相同, 只是推导过程更为直接和简略而已。如图 2 所示, 应用吸附等温线法评价沈阳地区不同 pH 土壤的供 Si 能力获得了很好的效果<sup>[26]</sup>。

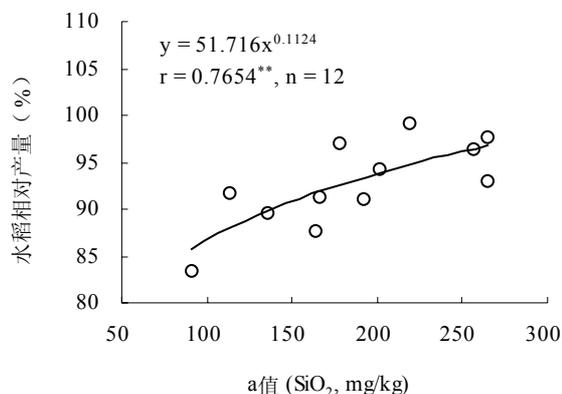


图 2 Si 肥肥效与土壤吸附等温线方程参数 a 值的关系 (在 2 种碱性土壤中)

Fig. 2 Yield response of rice to Si-fertilizer in relation to parameter a of the adsorption isotherm equation

上述以水或稀氯化钙溶液提取的土壤 Si 素与水稻植株含 Si 量间有着很好的相关性, 可以用来评价土壤供 Si 能力。但这类方法存在着测定费时、繁琐等缺点, 因此在生产中应用于指导测土施肥时很不方便。

## 2 土壤供硅能力评价方法今后的研究重点

综上所述, 随着土壤科学的发展和作物生产实践的需要, 关于土壤供 Si 能力评价方法的研究经历了一个不断深入的过程 (表 1)。但从生产实践与应用范围的角度来看, 寻求新的浸提剂, 建立快速、简便、适于评价不同 pH 土壤供 Si 能力的通用方法仍然是今后研究的主要方向。为此, 有关的研究应重点关注以下几方面。

### 2.1 土壤矿物吸附 Si 的机理与土壤 Si 素形态分组

吸附解吸制约着土壤溶液中 Si 的浓度, 从而影响着土壤供 Si 能力。不同土壤矿物对于单硅酸的吸附特性不同, 目前研究较多的是氢氧化铝和氢氧化铁等对 Si 的吸附, 其机理尚不清楚, 而有关钙、锰化合物等吸附 Si 的研究尚鲜有报导; 同时, 有关土壤中 Si 素形态分组及其化学行为和生物有效性的研究尚未开展。加强上述研究, 可以了解土壤 Si 形态的转化和不同形态 Si 素的生物有效性, 有助于建立

表 1 土壤供 Si 能力的评价方法

Table 1 Methods for evaluation of silicon supplying capacity of soils

方法	浸提剂	液土比	提取温度	提取方式	参考文献
醋酸-醋酸钠缓冲液提取法	1 mol/L HAc-NaAc (pH 4.0)	10:1	40	静置 5 h, 每隔 1 h 摇动 1 次	今泉吉郎和吉田昌一 <sup>[13]</sup>
盐酸提取法	0.2 mol/L HCl	20:1	40	静置 18 h	川口桂三郎等 <sup>[16]</sup>
柠檬酸提取法	0.025 mol/L 或 1% C <sub>6</sub> H <sub>8</sub> O <sub>10</sub>	10:1	30	静置 5 h	上田和雄和山岡熟 <sup>[14]</sup> 张效朴和臧惠林 <sup>[19]</sup>
硫酸-硫酸铵溶液提取法	0.02 mol/L H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> -(NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	10:1	20	振荡 0.5 h	Fox 等 <sup>[11]</sup>
磷酸二氢钙-醋酸缓冲液提取法	Ca(H <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> -0.1 mol/L HAc (P 500 mg/kg, pH 3.5)	10:1	30	振荡 4 h	同上
醋酸铵-醋酸缓冲液提取法	0.5 mol/L NH <sub>4</sub> Ac- HAc (pH 4.8)	20:1	30	振荡 1 h	同上
淹水保温静置法	H <sub>2</sub> O	6:1	40	静置 1 w	高橋和夫等 <sup>[23]</sup>
上清液法	H <sub>2</sub> O	4.5:1	30	静置 4 w	住田弘一等 <sup>[28]</sup>
土壤溶液法	鲜样	-	室温	离心 15 min	岡山清司和吉野喬 <sup>[29]</sup>
易溶出硅酸测定法	含 0~100 mg/L SiO <sub>2</sub> 的 0.02 mol/L CaCl <sub>2</sub> 溶液	10:1	30	静置 5 d	住田弘一 <sup>[30]</sup>
逐次上清液法	H <sub>2</sub> O	4.5:1	30	静置, 定期提取上 清液数次	北田敬宇等 <sup>[31]</sup>
淹水连续提取法*	H <sub>2</sub> O	5:1	25	静置, 定期离心提 取共 14 次	马同生等 <sup>[24]</sup>
磷酸二氢钠-磷酸氢二钠缓冲液提取法	NaH <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> -Na <sub>2</sub> HPO <sub>4</sub> (pH 6.2)	10:1	40	振荡 5 min, 静置 24 h, 再振荡 5 min	加藤直人 <sup>[23]</sup>
磷酸氢二钾-氢氧化钠缓冲液提取法	K <sub>2</sub> HPO <sub>4</sub> -NaOH (pH 6.5)	10:1	40	静置 24 h	刘鸣达 <sup>[26]</sup>
磷酸二氢钠-磷酸氢二钠-EDTA 缓冲液提取法	NaH <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> -Na <sub>2</sub> HPO <sub>4</sub> -EDTA (pH 6.7~6.8)	10:1	80	30 min	茂角正延等 <sup>[34]</sup>

注: 标\*者为笔者命名。

科学的土壤供 Si 能力评价方法。

## 2.2 硅酸化学特性对土壤供 Si 能力的影响

由于具有聚合的特性, 体系中的 Si 的组分常随硅酸浓度、环境条件的变化而改变。这些研究目前仅限于纯化学理论方面, 将硅酸聚合理论与土壤学研究结合起来, 可以说明土壤中硅酸聚合形态及其与土壤供 Si 能力的关系, 进一步丰富土壤学理论。

## 2.3 评价不同 pH 土壤供 Si 能力通用方法的建立

最近, 一些学者提出了磷酸二氢钠-磷酸氢二钠缓冲液法 (pH 6.2)<sup>[33]</sup>、磷酸二氢钾-氢氧化钠缓冲液法 (pH 6.5)<sup>[26]</sup>、磷酸二氢钠-磷酸氢二钠-EDTA 法<sup>[34]</sup>等。这些方法快速、简便, 都能很好地评价相应地区水田土壤的供 Si 能力。但它们应用于其他地区乃至旱地土壤的效果及相应的土壤 Si 素丰缺标准

尚有待于进一步深入研究。

## 参考文献:

- [1] 陈平平. 硅在水稻生活中的作用. 生物学通报, 1998, 33 (8): 5-7
- [2] Savant NK, Korndörfer GH, Datnoff LE, Snyder GH. Silicon nutrition and sugarcane production: A review. J. Plant Nutri. 1999, 22 (12): 1853-1903
- [3] Miyake Y, Takahashi E. Silicon deficiency of tomato plant. Soil Sci. Plant Nutrc., 1978, 24 (2): 175-189
- [4] Matichenkov VV, Calvert DV, Snyder GH. Prospective of silicon fertilization for citrus in Florida. Soil Crop Sci. Florida Proc., 2000, 59: 37-141
- [5] 蔡德龙. 硅肥及施用技术. 北京: 台海出版社, 2001

- [6] Epstein E. Silicon. *Annu. Rev. Plant Physiol. Plant Mol. Biol.*, 1999, 50: 641-664
- [7] 刘鸣达, 张玉龙. 水稻土硅素肥力的研究现状与展望. *土壤通报*, 2001, 32 (4): 187-192.
- [8] 王荔军, 郭中满, 李铁津, 李敏. 生物矿化纳米结构材料与植物硅营养. *化学进展*, 1999, 11 (2): 119-128
- [9] 袁可能. 植物营养的土壤化学. 北京: 科学出版社, 1983: 606
- [10] 汪传炳, 茅国芳, 姜中涛. 上海地区水稻硅素营养状况及硅肥效应. *上海农业学报*, 1999, 15 (3): 65-69
- [11] Fox RL, Silva JA, Younge OR, Plucknett DL, Sherman GD. Soil and plant silicon and silicate response by sugar cane. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.*, 1967, 31: 775-779
- [12] 内山修男, 鬼鞍豊. 水田土壤に於ける粘土の生成に関する研究 (第1報), 稀薄炭酸ソーダ溶液に可溶の珪酸及び礫土の年間消長に就いて. *日本土壤肥料學雜誌*, 1955, 25: 291-298
- [13] 今泉吉郎, 吉田昌一. 水田土壤の珪酸供給力に関する研究. *農技研報告*, 1958, B8, 261-304
- [14] 上田和雄, 山岡熟. 老朽化水田土壤に関する研究 (第6報), 珪酸欠乏による水稻の秋落現象に対する調査 (信樂地区). *日本土壤肥料學雜誌*, 1959, 30 (4): 498-505
- [15] 瀧嶋康夫, 壺島光洲, 今野喜一. 泥炭地水田土壤に関する研究 (第11報) 水稻に対する珪酸肥料の効果について. *日本土壤肥料學雜誌*, 1959, 57 (5): 515-517
- [16] 川口桂三郎, 松尾嘉郎. 水田土壤中の有効態珪酸に関する研究 (第1報) N/5 塩酸可溶性珪素, アルミニウム, 鉄の的相対量と珪酸石灰の肥効との関係. *日本土壤肥料學雜誌*, 1958, 28(4): 493-496
- [17] 上田和雄, 山岡熟. 老朽化水田土壤に関する研究 (第7報), 土壤中の可給態珪酸定量法の検討とその応用. *日本土壤肥料學雜誌*, 1959, 30 (4): 498-505
- [18] Nayar PK, Misra AK, Patanaik S. Evaluation of silica-supplying power of soils for growing rice. *Plant and Soil* 1977, 47 (2): 487-494
- [19] 张效朴, 臧惠林. 土壤有效硅测定方法的研究. *土壤*, 1982, 14 (2): 188-192
- [20] 川口桂三郎. 水田土壤学. 東京: 講談社, 1978: 296-297
- [21] 臧惠林, 张效朴, 何电源. 我国南方水稻土供硅能力的研究. *土壤学报*, 1982, 19 (2): 131-139
- [22] 住田弘一. 多様な水稻栽培方式における水田土壤肥料研究の現状と方向. 1. 水田土壤における養分動態研究の進歩その-ケイ酸. *日本土壤肥料學雜誌*, 1996, 67 (4): 435-439
- [23] 高橋和夫, 野中邦彦. 水田土壤中の有効態ケイ酸の測定法. *日本土壤肥料學雜誌*, 1986, 57 (5): 515-517
- [24] 马同生, 冯亚军, 梁永超, 华卫, 孙斌, 王岐山, 黄胜海, 张炳奎. 江苏沿江地区水稻土硅素供应力与硅肥施用. *土壤*, 1994, 26 (3): 154-156
- [25] 张玉龙, 李军, 刘鸣达, 黄毅. 辽宁省水田土壤硅素肥力状况的初步研究. *土壤通报*, 2003, 34 (6): 543-547
- [26] 刘鸣达. 水稻土供硅能力评价方法及水稻硅素肥料效应的研究 (博士学位论文). 沈阳: 沈阳农业大学, 2002: 145
- [27] Xu GH, Zhan XH, Li CH, Baos, Liu X, Chu T. Assessing methods of available silicon in calcareous soils. *Commun. Soil Sci. Plant Analy.*, 2001, 32(5/6): 787-801
- [28] 住田弘一, 大山信雄. 水田土壤の湛水培養による上澄液ケイ酸. *日本土壤肥料學雜誌*, 1988, 59 (5): 593-600
- [29] 岡山清司, 吉野喬. 土壤溶液中のケイ酸濃度と水稻のケイ酸吸収. *富山や農技研報*, 1989, 5: 1-14
- [30] 住田弘一. 水田土壤におけるケイ酸の溶出吸著特性可給態ケイ酸の診断への適用. *日本土壤肥料學雜誌*, 1991, 62 (3): 378-385
- [31] 北田敬宇, 龜川健一, 秋山豊. 逐次上澄液法による輪換田土壤ケイ酸の有効化過程解明. *日本土壤肥料學雜誌*, 1992, 63 (1): 31-38
- [32] 住田弘一, 尾和尚人, 北田敬宇, 藤井弘志, 前川和正, 神頭武嗣, 渡辺和彦, 加藤直人. ケイ酸と作物生産. *日本土壤肥料學雜誌*, 2001, 72 (6): 839-844.
- [33] 加藤直人. pH6.2 のリソ酸緩衝液抽出による水田土壤の可給態ケイ酸の簡易評価法. *綜合農業の新技術*, 2000, 13: 146-150
- [34] 茂角正延, 橘田安正, 久保省三, 水落勤美. リソ酸緩衝液抽出法による水田土壤の可給態ケイ酸評価法. *日本土壤肥料學雜誌*, 2002, 73 (4): 383-390

## The Evaluation Methods of Soil Silicon Supplying Capacity: A Review

LIU Ming-da, ZHANG Yu-long, CHEN Wen-fu

*(College of Land & Environmental Science, Shenyang Agricultural University, Shenyang 110161, China)*

**Abstract:** The history and present status of studies involved in evaluation methods of soil silicon supplying capacity are reviewed and the merits and demerits of these methods are compared in this paper. The traditionally used 1 mol/L HAc-NaAc (pH 4.0) buffer solution method is inappropriate to evaluate silicon supplying capacity of soils with high pH values. The methods with water or dilute CaCl<sub>2</sub> solution can be used to evaluate the soil silicon supplying capacity. However, these methods are trivial and time-consuming. It deserves further study to explore a universal method to evaluate the silicon supplying capacity of soils within a wide pH value range.

**Key words:** Soil, Available silicon, Silicon supplying capacity, Evaluation method, Extractant