

稻麦钾素营养诊断和钾肥施用

鲍士旦

(南京农业大学)

摘 要

研究了水稻土的供钾状况以及稻、麦、黑麦草等作物对土壤不同形态钾的吸收。试验证明,非交换性钾是稻、麦钾素的主要给源。根据稻、麦吸钾特点,认为土壤交换性钾不是水稻土供钾的良好指标;提出用冷的 $2 \text{ mol L}^{-1} \text{ HNO}_3$ 浸提水稻土有效钾的方法,此法浸提出的钾量与作物吸钾量、生物产量之间的相关最显著。

80年代以来,随着氮、磷肥用量的增加,主要粮食产量的大幅度提高,作物从土壤中移走的钾分愈来愈多,特别是大量氮肥的施用和有机肥投入量的减少,加剧了土壤中钾的耗竭,南方诸省钾素供应不足的情况愈来愈严重而普遍,钾肥肥效显著,某些地区缺钾已成为提高作物产量的限制因素之一。

本文根据1982年以来我们的研究结果,对水稻、大麦和小麦和黑麦草等作物的吸钾特点,钾素诊断和钾肥效应等问题作一简要的讨论。

一、土壤钾素诊断

(一)土壤交换性钾和非交换性钾间的关系

不同类型的缺钾土壤,即使交换性钾含量很接近,但非交换性钾(缓效性钾)含量相差甚大,如淮阴黄泛冲积砂土和宜兴黄泥土,其交换性钾为67和66ppmK,可是非交换性钾含量分别为828和185ppmK,非交换性钾量/交换性钾量比值分别为12.4和2.8。大家知道,稻、麦等禾谷类作物利用土壤层间钾的能力很强,可以想像以上两种土壤如种植水稻,施用同等量的钾肥,估计其肥效在“比值”大的土壤要比在“比值”小的土壤上差。因此我们认为,仅以土壤交换性钾的含量作为水稻土钾素肥力指标是不够全面的。

(二)稻麦黑麦草对土壤非交换性钾的利用

1982—1989年间,我们以禾谷类作物——稻、麦、黑麦草为对象进行盆栽和田间试验,以常规的化学方法与电超滤法(Electro ultra filtration;简称EUF法)为手段,进一步研究江苏省主要土类供钾状况以及各种作物对土壤不同形态钾的吸收,为研究水稻土的有效钾提取方法与分级指标提供理论依据。

表1结果表明,大麦(盆栽)吸收来自非交换性钾占总吸钾量%平均为70.9,水稻(盆栽)平均为58.5,黑麦草平均为73.6;水稻(田间试验)为61.7—100,小麦为61.8。总之,非交换性钾是稻、麦、黑麦草等作物的钾素营养的主要给源^[1-3]。表1还表明,稻、麦、黑麦草吸收来自非交换性钾占土壤非交换性钾量的28—50%,这部分钾可认为是非交换性钾中有效部分。

*本研究1987年后得到国家自然科学基金资助。

盆栽和大田试验说明了稻、麦、黑麦草除吸收土壤交换性钾以外，非交换性钾在补给交换性钾方面起了重要的作用，不同土壤非交换性钾的释放速率是不同的，因此，这种补给能力不同土壤也是不一样的，这与土壤粘土矿物的组成和含量有关。综上所述，如果一个速测方法能包括交换性钾和非交换性钾的有效部分，可能与稻、麦吸钾量、生物产量之间联系更好。在1984年我们根据稻、麦吸钾特点提出用冷的 $2\text{molL}^{-1}\text{HNO}_3$ 溶液提取水稻土有效钾含量的方法。

表 1 水稻、大麦、小麦、黑麦草对土壤非交换性钾的利用* 1982—1989

供试土壤	试 验	吸收来自交换性钾 占总吸钾量 %	吸收来自非交换性 钾占总吸钾量 %	吸收来自非交换性钾 占土壤非交换性钾 %	参考文献
土壤 (n=4)	大麦(盆栽)	29.2 (19.9—39)	70.9 (61—80.1)	33.4 (23.8—44.8)	[4]
土壤 (n=10)	水稻(盆栽)	41.5 (27.3—61)	58.5 (39.0—72.7)	28.4 (21.7—37)	[5]
土壤 (n=10)	黑麦草(盆栽)	26.4 (4.0—48.8)	73.6 (51.2—96.0)	50.2 (19.4—80.6)	①
黄泥土 (低位白土) (武进)	水稻(大田, 二季)	18.1	82.0	—	①
	小麦(大田, 一季)	48.2	61.8	—	
黄泥土 (吴江)	水稻(大田)	0	100	—	[5]
白土(高淳)	水稻(大田)	38.3	61.7	—	[5]

* 非交换性钾即通常所指的缓效性钾或层间钾。

① 张建才，江苏省几种不同土壤钾的固定和释放。南京农业大学，硕士研究生论文，1985。

(三) 水稻土有效钾的提取

用EUF法测定土壤钾的供应能力是一个比较理想的方法。它能同时测定土壤中钾素供应强度、数量、缓冲容量和固定能力(表2)，它提供了土壤钾素营养动态的完整资料，具有独特的优点^[2]。但在生产上更需要一种能反映土壤钾素丰缺的快速诊断方法。

从水稻吸钾总量与各方法测定值的相关系数来看(表2)， $1\text{molL}^{-1}\text{NH}_4\text{Ac}(\text{pH}7)$ 法；热的 $1\text{molL}^{-1}\text{HNO}_3$ 提取的非交换性钾(已减去交换性钾量)法； $0.05\text{molL}^{-1}\text{HCl}-0.0125\text{molL}^{-1}\text{H}_2\text{SO}_4$ 法；冷的 $2\text{molL}^{-1}\text{HNO}_3$ 法均达到显著水准，但其中吸钾量与冷的 $2\text{molL}^{-1}\text{HNO}_3$ 法测定值之间相关系数(0.978**)均比其他方法(0.945**、0.943**、0.829**)高。

我们认为， $1\text{molL}^{-1}\text{NH}_4\text{OAc}$ 法与 $0.05\text{molL}^{-1}\text{HCl}-0.0125\text{molL}^{-1}\text{H}_2\text{SO}_4$ 法主要代表土壤交换性钾，不能反映容量指标，热的 $1\text{molL}^{-1}\text{HNO}_3$ 法可能作用太强，提取的非交换性钾量太多，而且方法较繁。几种化学方法的偏相关分析结果也说明冷的 $2\text{molL}^{-1}\text{HNO}_3$ 法提取的钾量更能反映水稻土的供钾能力^[2]。根据稻、麦的吸钾特点，用冷的 $2\text{molL}^{-1}\text{HNO}_3$ 法的测定值应大于土壤交换性钾值，并包括非交换性钾的有效部分，看来是合理的。

1985年，张建才*用作者提出的冷的 $2\text{molL}^{-1}\text{HNO}_3$ 法及其他化学方法的测定结果与黑麦草各茬吸钾量的相关性表明，在所有化学提取方法中，冷的 $2\text{molL}^{-1}\text{HNO}_3$ 法为最好。

1988年，徐国华等^②通过对黑麦草耗竭试验，证明7茬作物的吸钾总量与冷的 2molL^{-1}

* 同表1中资料①。

② 徐国华，禾谷类及豆类作物对土壤层间钾的利用，南京农业大学硕士研究生论文，1988。

表 2

土壤供钾状况土 (mgK/100g土)

土 壤	水稻吸钾 总量 (1)	EUF 法			化 学 法			
		0—10分钟 解吸钾量 (2)	10—35分钟 解吸钾量 (3)	0—35分钟 解吸钾量 (4)	1molL ⁻¹ NH ₄ OAc (pH7)法 (5)	热的1mol L ⁻¹ HNO ₃ 法(非交换 性钾) (6)	0.05mol L ⁻¹ HCl— 0.0125mol L ⁻¹ H ₂ SO ₄ 法(7)	冷的2mol L ⁻¹ HNO ₃ 法(8)
淮阴黄潮土(Ⅱ, 淤土)	50.3	8.00	13.4	21.4	27.5	138.4	9.63	51.8
江阴黄潮土(I, 两合土)	46.0	6.22	12.4	18.7	22.0	127.4	11.9	47.2
兴化黑粉土	39.2	4.68	12.3	17.0	20.6	81.5	8.28	27.4
邗江灰潮土	20.1	2.00	4.82	6.82	7.00	51.3	6.40	11.2
吴县黄泥土	16.0	2.63	5.70	8.28	10.0	26.9	6.99	11.8
江西九江红壤	16.4	3.33	3.31	6.64	8.75	30.2	7.35	9.90
苏州望亭白土(3)	14.6	0.98	3.19	4.07	6.17	24.1	4.85	8.76
句容白土(1)	11.6	0.68	1.61	2.29	5.10	36.6	3.09	6.48
浙江金华黄红壤	9.91	1.90	3.28	5.18	7.30	11.8	5.44	7.62
宜兴白土(2)	9.65	0.70	1.86	2.56	4.09	15.6	3.38	6.10

* 1molL⁻¹HNO₃法: 即酸溶性钾量减去交换性钾量得土壤非交换性钾量。

注: 水稻吸钾量(y)与各种方法测定值(x)符合 $y = ax^b$ 曲线回归方程, 它们之间的相关系数(r)值如下:

$r(1)(2) = 0.872^{**}$, $r(1)(3) = 0.940^{**}$, $r(1)(4) = 0.040^{**}$, $r(1)(5) = 0.945^{**}$, $r(1)(6) = 0.944^{**}$,

$r(1)(7) = 0.829^{**}$, $r(1)(8) = 0.978^{**}$, $r(4)(8) = 0.943^{**}$ ($n = 10$, 相关系数显著水准 $r_{0.01} = 0.765$,

实测的相关系数达到1%显著水准以**来表示)。

HNO₃浸提的钾及作为土壤钾缓冲容量的EUF—K(30—35分钟)值的相关最为密切(相关系数分别为0.940^{**}, 0.870^{**})。

综上所述, 冷的2molL⁻¹HNO₃作为水稻土有效钾(包括土壤交换性钾和非交换性钾的有效部分)的提取剂, 能反映水稻土的供钾状况, 而且此法快速简便, 容易掌握, 重现性也较好, 在一般实验室可以推行。

(四) 稻麦田间钾肥试验效应

我们在1983—1989年分别在高淳、吴江、武进、溧水、扬中等县对稻麦进行钾肥多点田间试验, 结果(表3, 表4)表明, 9个小麦钾肥试验点中有6个试验点土壤有效钾含量在13.8mgK/100g土以下, 每亩施KCl 10kg(5kg作基肥, 5kg作拔节前追肥), 小麦籽粒产量平均增产11%。而1molL⁻¹NH₄OAc法、热的1molL⁻¹HNO₃法、冷的2molL⁻¹HNO₃法与小麦百分生物产量的相关系数(r)分别为0.472、0.225、0.726*, 说明土壤交换性钾和缓效性钾与小麦百分生物产量均未达显著相关。但冷的2molL⁻¹HNO₃法与小麦百分生物产量相关达到(0.726*)显著水平。9个水稻钾肥试验点, 土壤有效钾含量在10.3mgK/100g土以下, 每亩平均施KCl 10kg, 平均增产稻谷10%。而冷的2molL⁻¹HNO₃法与水稻稻谷百分产量相关达到(0.719*)显著水平。

以冷的2molL⁻¹HNO₃提取的有效钾量与盆栽^[2, 4]、田间施用钾肥的反应进行的对比, 证明冷的2molL⁻¹HNO₃提取的水稻土有效钾量在10—13mgK/100g土以下均为缺钾土壤, 此时稻、麦施用钾肥能增产10%以上。本方法为稻麦轮作区提供了简便易行的土壤钾素诊断方法和初步指标。

(五) 冷的2molL⁻¹HNO₃浸提水稻土有效钾的具体方法

称取2.50g风干土于硬质大试管中, 加入2molL⁻¹HNO₃ 50ml, 加塞, 在振荡机(往返式)上振荡半小时, 立即过滤, 滤液中钾用火焰光度法测定之。

表 3

土壤中不同形态钾量与小麦百分生物产量间的关系

1983—1989年

地点和土壤	品 种 (种植年月)	不同形态钾量(mgK/100g±)			产 量 (kg/亩)				(4) 百分生物产量 (NP/NPK)
		(1) 1molL ⁻¹ NH ₄ OAc 交换性钾	(2) 1molL ⁻¹ 热HNO ₃ 缓效钾	(3) 2molL ⁻¹ 冷HNO ₃ 有效钾	NP 处理		NPK 处理		
					籽粒	麦草	籽粒	麦草	
吴江金家坝 (黄泥土)	宁麦 3 号 (1983.6)	7.9	22.1	9.9	203.4	680 (883.4)	203.6	704.5 (908.1)	97.3
吴江八都 (白土)	扬麦 1 号 (1983.6)	6.0	—	9.0	137.6	490.4 (628.0)	195.4	544.2 (739.5)	84.9
武进滢里 (黄泥土)	扬麦 1 号 (1983.6)	6.0	36.0	7.9	168.9	423.6 (592.5)	200.5	535.3 (735.8)	80.5
深水付家边 (黄白土)	宁麦 4 号 (1986.6)	7.3	41.8	8.9	216.8	320.7 (537.5)	253.2	395.7 (648.9)	82.8
扬中丰裕 (冲积水稻土)	扬麦 5 号 (1989.6)	5.3	41.8	12.0	179.2	651 (830.6)	209.2	683.4 (892.6)	93.1
扬中永胜 (冲积水稻土)	扬麦 5 号 (1989.6)	5.8	43.6	13.8	187.9	640 (827.9)	209.4	697 (90)	
扬中长旺 (冲积水稻土 I)	扬麦 5 号 (1989.6)	7.0	50.0	15.4	221.3	712.5 (933.8)	212.1	727 (939.1)	99.4
扬中兴隆 (冲积水稻土)	扬麦 5 号 (1989.6)	9.2	54.6	20.9	206.8	745 (951.8)	211.1	765 (976.1)	97.5
扬中油坊 (冲积水稻土)	扬麦 5 号 (1989.6)	7.8	50.6	16.5	206	601.3 (867.3)	219.8	636.5 (856.3)	

注: 试验均在氮磷肥相同基础上每亩施用KCl10kg, 均为4次重复, 产量均为实产(平均值)。括弧内为生物产量。

$r(1)(4)=0.472(n=9)$, $r(2)(4)=0.225(n=8)$, $r(3)(4)=0.726(n=9)$, $(0.05=0.666)$

以上6个钾肥试验点小麦籽粒产量平均增产11%(有效钾含量在13.8mgK/100g土以下)。

表 4

土壤有效钾含量与水稻百分产量间的关系

地点和土壤	品种和种植年月	(1) 冷2molHNO ₃ 有效钾量 (mgk/100g土)	产 量 (kg/亩)		(2) 百分产量 (NP/NPK)
			NP处理 稻谷	NPK处理 稻谷	
高 淳 (白土)	BG902 1983.10	6.6	362.9	415.6	87.2
吴江金家坝 (黄泥土)	加农33 1983.10	9.9	418.0	425.4	98.2
深水付家边 (小粉白土)	910 1985.10	5.87	402.6	455	88.4
深水付家边 (小粉土)	910 1985.10	7.05	429.7	493.3	87.1
深水薛家 (黄白土)	中梗 1986.10	8.9	440.4	512.5	86.0
武进滢里 (黄泥土)	汕优 6 号 1986.10	7.9	540.8	590.5	91.6
武进滢里 (黄泥土)	汕优 6 号 1686.10	9.06	512	540	94.8
武进滢里 (黄泥土)	汕优 6 号 1687.10	9.72	512	542.8	94.3
武进滢里 (黄泥土)	汕优 6 号 1987.10	10.3	540	576.5	93.8

注: $r(1)(2)=0.719^*(n=9)$, 每亩均施KCl10kg, 以上9个试验点施钾平均增产16%, (土壤有效钾含量在10.3mgK/100g以下)。

二、水稻小麦的吸钾特点与施肥建议

表5结果表明,水稻在拔节(孕穗)前72天内累积吸钾量达2.38—3.28kgK/亩,其平均吸钾速率为33.3—45.3gK/亩·天;拔节至齐穗期24天内的吸收的钾达到2.11—2.65kgK/亩,其平均吸钾速率为87.9—110.6gK/亩·天,是拔节孕穗前吸钾速率的2.6—2.4倍。

表5 水稻汕优6号各生育期吸钾量(kg/亩)和平均吸钾速率(gK/亩·天)

武进县

施钾处理 (kg K/亩)	吸钾总量	三叶期—拔节 (30天)	移栽—分蘖 (18天)		分蘖—拔节 (24天)		拔节—齐穗 (24天)		齐穗—成熟 (40天)	
			吸钾量	吸钾速率	吸钾量	吸钾速率	吸钾量	吸钾速率	吸钾量	吸钾速率
0	4.32		0.511	28.4	1.42	59.16	2.11	87.92	-0.177	4.40
5	4.99	0.455	0.811	45.1	2.015	83.93	2.66	110.90	-0.943	22.60

表6 小麦(郑麦5号)各生育期吸钾量(mgK/株)和平均吸钾速率(μ gK/株·天)

1988.10—1989.9

试验地点	施钾处理 (kg K/亩)	出苗—拔节 (33天)		拔节—越冬 (51天)		越冬—返青 (17天)		返青—拔节 (16天)		拔节—齐穗 (32天)		齐穗—成熟 (38天)	
		吸钾量	吸钾速率										
扬中水胜	0	0.63	22.5	0.85	16.6	2.82	60	2.43	127	17.8	539	-3.0	-78
	5	0.95	33.0	0.99	13.5	2.51	53	2.61	137	27.2	824	-13.6	-358
	5*	1.06	37.8	0.41	8.0	2.69	57	1.27	67	27.8	842	-11.3	-297
扬中油坊	0	0.94	33.6	0.60	12.0	2.94	63	5.84	307	16.0	494	-2.8	-74
	5	0.73	28.0	0.73	14.3	2.18	46	5.32	280	21.6	654	-6.3	-166
	5*	0.92	32.9	0.92	18.0	2.21	47	6.60	347	18.1	548	-2.1	-55

* 分两次施,每次2.5kgK/亩。

由表6可见,小麦在拔节前145天内累积吸钾量达6.73—19.65mgK/株,拔节至齐穗期只有33天内吸收的钾达16—27.8mgK/株,拔节至齐穗期33天里平均吸钾速率为484—842 μ gK/株·天,是拔节前平均吸钾速率(46.4—73.4 μ gK/株·天)的10.5—11.5倍。由此可见,孕穗(拔节)至齐穗期是水稻、小麦需钾最多的时期,其吸钾量和吸钾速率均达到最高峰。根据稻、麦的需钾特点,看来,在缺钾土壤上钾肥分次施用较好地满足稻、麦对钾的需要比1次作基肥更好。在缺钾土壤上小麦每亩施2.5kgK作为基肥,2.5kgK作拔节前追肥,其增产率为11.6—16.7%比每亩施5kgK1次作基肥增产率4.6—6.9%的效果好。所以,我们建议稻、麦钾肥应分次施用。

三、钾肥对水稻小麦产量结构的影响

水稻、小麦的产量是由每亩穗数、每穗实粒数和千粒重决定的。除钾素极缺的土壤外,一

般每亩总穗数受土壤钾素影响较小。从生长情况看,各施钾区植株比对照区生长旺盛,表明钾有利于光合产物的运输,加速籽粒灌浆,使每穗的实粒数增加1.5—6.0粒,千粒重增加1.05—2.40g,从而获得高产。

参 考 文 献

- [1] 鲍士旦、史瑞和,土壤钾素供应状况的研究, I. 江苏省几种土壤的供钾状况与禾谷类作物(大麦)对钾吸收能力之间的关系。南京农学院学报, 第1期, 59—66页, 1982。
- [2] 鲍士旦、史瑞和,土壤钾素供应状况的研究, II. 南京农学院学报, 第4期, 70—78页, 1984。
- [3] 谢建昌,土壤钾素研究的现状与展望,土壤学进展, 第1期, 1—15页, 1981。
- [4] 鲍士旦、黄建伟、赵兴华,丘陵山区开发点土壤肥力调查和测土施肥(简报)。南京农业大学学报, 第4期, 116—118页, 1985。
- [5] 张建才、史瑞和、鲍士旦,江苏省几种不同土壤钾素供应状况的研究。南京农业大学学报, 第11卷, 第2期, 73—81页。

(上接第183页)

配方, F^- 的活度基本上是一样的, H^+ 的活度大致 pH 在 2—3。对 Ca—P 化合物, H^+ 对它有很强的溶解能力。根据 Ca_8-P 的试验结果看, 在 pH4 左右时即可使其大部分溶解。同时, F^- 与 Ca^{++} 反应可以形成 CaF_2 沉淀, 所以凡是大于 CaF_2 溶度积的 Ca—P 化合物都有可能反应生成 CaF_2 而释放出磷。在理论上, 酸性土壤中的 $Ca-P$ 化合物是很少的, 有的话也不可能以磷灰石形态长期存在, 在中性土壤中, 大部分的 Ca—P 活性应该比较大, 在石灰性土壤中, 施用磷肥后的残留磷, 初期主要以 Ca_2-P 形态存在。因此, 无论是 H^+ 或者是 F^- 的作用, 对活性 Ca—P 的浸提主要是受控于时间。对于 Al—P 和 Fe—P 的浸提机理, 主要是在 H^+ 的条件下, F^- 对 Al 和 Fe 的络合作用。pH 越低, F 络合 Fe、Al 的能力越强。所以在强酸性土壤中, 用 Bray—2 法浸提出的磷量比 Bray—1 法更为合适的原因就在于此。

以上虽然只介绍了两种著名的浸提剂, 但从机理上已经说明了 H^+ 、 OH^- 、 HCO_3^- 和 F^- 对 Ca—P、Al—P 和 Fe—P 的反应过程, 并基本上联系到了不同性质土壤中不同形态磷的化学行为。

(上接第221页)

3. 适当的施肥技术是保证施肥效果的基本手段, 在推荐施肥方案中必须包含这方面的内容。在施肥量已确定的条件下, 确定基、追肥的比例和基、追肥(施肥深度、工具、要求等)则成了重要的内容。鉴于蔬菜作物(尤其苗期)的根系对养分浓度较为敏感, 因而在适当增加施肥量, 提高土壤溶液中养分浓度的同时, 还要防止高浓度养分对根系的抑制甚至伤害作用。蔬菜苗期施用基、追肥时, 做到肥与土拌匀, 避免肥料直接接触根系是十分必要的。

4. 不同的蔬菜品种与同一蔬菜的不同种植方式(如春种或秋种; 露地或保护地), 对施肥都有不同要求, 必要时可在施肥方案中指明。由于保护地栽培较为复杂, 宜单独制定方案。