

施钾对紫色土稻麦产量及土壤钾素状况的影响

熊明彪¹ 舒 芬² 宋光煜^{1†} 石孝均¹ 毛知耘¹

(1 西南农业大学资源环境学院, 重庆 400716)

(2 重庆市合川农业技术服务站, 重庆 401538)

摘 要 通过 9 年定位试验, 研究了水稻—小麦轮作中, 连续施用钾肥对紫色土钾素形态、含量变化及钾肥产量效应的影响。结果表明, 长期施钾明显提高稻麦产量, 维持紫色土有效钾库的平衡, 提高并保持土壤的持续供钾能力; 在每年 7 500 kg hm⁻² 稻秆还田的基础上, 每季配施 70 kg hm⁻² (K₂O) 左右的化学钾肥是维持紫色土土壤钾库平衡的有效措施。

关键词 施钾, 稻麦产量, 土壤钾素含量及形态, 紫色土, 定位试验

中图分类号 S143.3

钾是植物正常生长发育不可缺少的大量营养元素, 充足的钾素营养对提高作物产量, 改善作物品质具有重要意义^[1~4]。长期以来, 紫色土被认为是我国南方钾素含量最丰富的土壤, 一直到上世纪 80 年代初期试验研究均表明, 紫色土对钾需求不大^[5]。但是, 近年来, 随着氮、磷肥的大量施用, 复种指数日益提高, 尤其是在多熟高产栽培技术下, 紫色土钾素供应不足日益明显, 已成为了粮食高产的限制因子。目前, 紫色土钾素方面的研究报告较多^[6~8], 但大多属于短期肥效试验, 长期施钾对作物和土壤钾素状况的影响缺乏研究。为此, 本试验选用西南农业大学国家紫色土肥力与肥料效益监测基地中稻麦水旱轮作的长期定位试验为供试土壤, 对紫色土上长期施用钾肥对稻麦产量效应及土壤钾素形态、含量变化等进行系统研究, 以期为持续农业中钾肥的合理施用提供科学依据。

1 材料与方 法

1.1 试验基地概况

试验基地位于重庆市北碚区西南农业大学本部农场内, 属紫色丘陵区, 方山浅丘坳谷地形, 海拔 266.3 m。据北碚近 30 年的气象资料统计, 年平均气温 18.4℃, 全年降水 1 105.5 mm, 日照 1 276.7 h, 为亚热带季风气候。供试土壤为侏罗纪沙溪庙组紫色泥、页岩发育而成的紫色土(类), 中性紫色土亚类、灰棕紫泥土属。是紫色土中最多的一土属, 约占紫色土类面积的 40%, 四川和重庆的粮食基地县多分布在这类土壤上, 因此, 具有广泛的代表性。为了保证实验前各小区土壤肥力均匀性, 于 1989 年秋季开始进行了二年四茬稻、麦匀地试验。经测定, 匀地试验后各小区地力产量的变异系数 < 10%, 主要养分含量变异系数 < 20%, 说明各小区已较均匀, 可作为长期试验的基准。试验前对各小区耕层(0~20 cm)基础物理、化学性质作了全面分析(表 1)。正式试验于 1991 年秋季起在国家紫色土肥力与肥料效益监测基地的长期定位试验小区进行, 小区面积 120 m², 共 11 个。小区之间用 80 cm 深的水泥板隔开, 互不渗漏, 且能独立排灌。

1.2 田间试验设计

试验处理方案及施肥量见表 2。试验共设 11 个处理: (1) CK, (2) N, (3) NP, (4) NK, (5) PK, (6) NPK, (7) M₁, (8) M₁NPK, (9) M₁P(NK)_{cl}, (10) M₁(NPK)_h, (11) M₂NPK。第 1 处理为对照, 只种作物不施肥。2~6 处理为化肥试验区, 7~11 处理为有机肥及其与化肥配合试验区。第 9 处理为含氯化肥试验区, N、K 肥

† 通讯作者

表 1 供试基础土壤的基本农化性质

Table 1 The basic agrochemical properties of soil sample

土层 Soil layer (cm)	速效钾 Avail K (mg kg ⁻¹)	缓效钾 Slowly avail. K (mg kg ⁻¹)	有机质 O. M. (g kg ⁻¹)	全氮 Total N (g kg ⁻¹)	全磷 Total P (g kg ⁻¹)	全钾 Total K (g kg ⁻¹)	速效磷 Avail. P (mg kg ⁻¹)	CaCO ₃ (g kg ⁻¹)	pH	交换量 CEC (mol(+)kg ⁻¹)
0~ 20	88.2	562	23.9	0.76	0.73	21.1	4.3	0.59	7.7	20.3
c. v. (%)	8.5	12.5	5.4	5.6	17.2	2.0	17.3	-	1.8	11.5

表 2 试验处理和施肥量

Table 2 Treatments and fertilizer rates

处理号 No.	处理 Treatment	化肥用量 Fertilizer rate(kg hm ⁻²)			有机肥 Organic manure (kg hm ⁻²)
		N	P ₂ O ₅	K ₂ O	
1	CK	0	0	0	0
2	N	150	0	0	0
3	NP	150	75	0	0
4	NK	150	0	75	0
5	PK	0	75	75	0
6	NPK	150	75	75	0
7	M ₁	0	0	0	22500
8	M ₁ NPK	150	75	75	22500
9	M ₁ P(NK) _{cl}	150	75	75	22500
10	M ₁ (NHK) _h	225	112.5	112.5	22500
11	M ₂ NPK	150	75	75	7500

用 NH₄Cl 和 KCl, 其它各处理氮、钾肥均用尿素和硫酸钾, 磷肥用普钙。第 10 处理为化肥增量区, 氮、磷、钾肥用量为其它各处理的 1.5 倍。各处理均为稻麦水旱轮作。M₁ 代表猪粪, 每年用量 22 500 kg hm⁻²; M₂ 代表稻秆还田, 每年用量 7 500 kg hm⁻²。各处理按上述试验设计施肥, 化肥每季用量 1991~ 1997 年为: N 150 kg hm⁻²、P₂O₅ 75 kg hm⁻²、K₂O 75 kg hm⁻²。从 1997 年秋季起, 每季 P、K 肥用量由原来的 75 kg hm⁻² 改为 60 kg hm⁻²; 小麦 N 肥用量改为 135 kg hm⁻²; 水稻 N 肥仍为 150 kg hm⁻²; 第 7、9、10 处理的有机肥由猪粪改为稻秆。小麦 60% 的氮肥及全部磷、钾肥作基肥, 40% 的氮肥于 3~ 4 叶期追施。水稻 70% 的氮肥及全部磷、钾肥作基肥, 30% 氮肥在插秧后 2~ 3 周追肥。有机肥全部作基肥施用, 并于施用前测定其 N、P(P₂O₅)、K(K₂O) 含量。

按上述试验设计, 1991 年秋季开始至 2000 年夏季, 进行了 9 年 18 季水稻小麦轮作肥料定位试验。供试小麦品种一直用西农麦 1 号, 于当年 11 月上旬播种, 翌年 5 月上旬收获; 供试水稻品种: 1992~ 1997 年用汕优 63, 1998~ 2000 年用 II 优 6078, 于 5 月下旬插秧, 8 月中、下旬收获。长期定位试验处理设一次重复。

1.3 取样及测定方法

每年秋耕前取 0~ 20 cm 土层土壤样品, 为了减少采样时产生的误差, 土壤样品的采集采用分块多点进行, 阴干制样后进行土壤养分的测定。植株籽粒、秸秆钾素采用浓 H₂SO₄-H₂O₂ 消煮——原子吸收分光光度法^[9], 土壤速效钾采用 1 mol L⁻¹NH₄OAc(中性)浸提——原子吸收分光光度法^[9], 土壤缓效钾采用 1 mol L⁻¹HNO₃ 煮沸浸提——原子吸收分光光度法^[9]。

2 结果与讨论

2.1 长期施用钾肥稻、麦的产量效应

长期施肥的产量效应如表 3 所示,紫色土上施肥(不论是氮、磷、钾肥,还是有机肥)水稻、小麦均表现出明显的增产作用,如仅施猪粪(M_1)处理,水稻、小麦 9 年间年平均产量分别比对照(CK)增产 20.1% 和 7.8%。9 年间,氮钾(NK)处理比单氮(N)处理,水稻、小麦的平均增产率分别为 13.7% 和 6.0%,施 1 kg K_2O 增产水稻、小麦分别为 10.3 kg 和 1.7 kg; 氮磷钾(NPK)处理比氮磷(NP)处理,水稻、小麦的增产率分别为 7.9% 和 8.0%,施 1 kg K_2O 分别增产水稻、小麦 6.9 kg 和 3.0 kg。在氮磷钾基础上配施猪粪(M_1 NPK),水稻、小麦增产不明显。在氮磷钾基础上秸秆还田(M_2 NPK),水稻、小麦有明显增产效应,增产率分别为 7.8% 和 10.9%。含氯化肥处理(M_1 P(NK)_{cl})对水稻、小麦的增产效应与施尿素、硫酸钾处理(M_1 NPK)相当。以上结果表明,在水稻—小麦轮作中,长期施用钾肥,水稻、小麦均表现出明显的增产效应,氮、钾肥表现出明显的正交互作用;在秸秆还田的基础上钾肥的增产效应明显增加,这是长期秸秆还田促进了土壤有机无机复合体和微团聚体形成,既提高土壤有机质的数量,又有更新和活化老的有机质,改善腐殖质品质,从而全面提高土壤肥力的结果^[10-13]。由此可见,为了提高紫色土上钾肥的增产效应,秸秆还田与化学钾肥配施是一个较理想的措施;同时,由于紫色土上氯化钾(KCl)与硫酸钾(K_2SO_4)对水稻、小麦的增产作用相当,为了提高钾肥的经济效益,在紫色土上施用价格较便宜的氯化钾是较好的选择。

表 3 长期施钾紫色土稻、麦产量效应($kg\ hm^{-2}$)¹⁾

Table 3 Effect of long-term K application on rice-wheat yield for purple soil

处 理 Treatment	年均产量			增 产		钾肥效应 Efficiency of K fertilizer	
	Average annual yield($kg\ hm^{-2}$)			Yield increase(%)		($kg\ kg^{-1}$)	
	小麦 Wheat	水稻 Rice	总产 Total yield	小麦 Wheat	水稻 Rice	小麦 Wheat	水稻 Rice
CK	1420.4	3809.2	5229.6	—	—	—	—
N	1951.4	5248.5	7199.9	37.4	37.8	—	—
NP	2602.9	6103.7	8706.6	83.3	60.2	—	—
NK	2069.1	5969.2	8038.3	45.7	56.7	1.7	10.3
HK	1700.3	4630.0	6330.3	19.7	21.5	—	—
NPK	2811.3	6587.8	9399.1	97.9	80.0	3.0	6.9
M_1	1530.9	4575.0	6105.9	7.8	20.1	—	—
M_1 NPK	2857.1	6717.3	9574.4	101.1	76.3	3.2	7.7
M_1 P(NK) _{cl}	2972.9	6740.7	9713.6	109.3	76.9	4.2	7.3
M_1 (NPK) _h	2705.6	6538.5	9244.1	90.5	71.7	0.8	3.6
M_2 NPK	3118.5	7102.9	10221.4	119.6	86.5	4.2	8.1

1) 表中数据为 1991~2000 的平均值

不同时间段内,不同施钾措施对小麦、水稻产量的影响见表 4。由表可知,N、P、K 配合施用的五个处理(NPK、 M_1 NPK、 M_1 P(NK)_{cl}、 M_1 (NPK)_h、 M_2 NPK)各时间段内,小麦、水稻产量均较高;缺 PK、K、P、N 肥的 N、NP、NK、PK 四个处理小麦、水稻产量较低且呈现明显的下降趋势;不施化学肥料的 CK 和 M_1 两个处理产量最低。在 N、P、K 配施的五个处理中,秸秆还田处理各时间段小麦、水稻产量最高。由此可见,N、P、K 配施尤其是秸秆还田基础上配施化学 N、P、K 肥是紫色土小麦、水稻高产、稳产的重要措施。

表 4 不同施钾不同时间段小麦、水稻产量(kg hm^{-2})

Table 4 Rice-wheat yield at different K application rates during different periods

处理 Treatment	小麦产量 Wheat yield			水稻产量 Rice yield		
	1992	1993~ 1996	1997~ 2000	1992	1993~ 1996	1997~ 2000
CK	1437.0	1440.8	1395.8	4618.5	3644.6	3771.4
N	2566.5	2190.8	1558.1	5808.0	5317.5	5039.6
NP	2791.5	2807.6	2350.9	6433.5	6271.9	5853.0
NK	2599.5	2393.3	1591.1	6319.5	6085.1	5747.6
HK	2224.5	1717.1	1527.4	4708.5	4766.3	4474.1
NPK	2784.0	2860.9	2718.4	6991.5	6550.1	6524.6
M_1	1516.5	1567.1	1498.1	5379.0	4874.3	4074.8
M_1 NPK	2859.0	2910.4	2778.4	7204.5	6777.4	6535.5
M_1 P(NK) _{cl}	2892.5	3137.6	2828.3	7188.0	6707.6	6661.9
M_1 (NPK) _h	2842.0	2707.5	2619.8	6579.0	6522.4	6544.5
M_2 NPK	3183.0	3259.9	2935.9	7371.0	7269.4	6869.3

2.2 长期施钾对紫色土钾素含量变化的影响

长期施钾对紫色土缓效钾、速效钾含量变化的影响结果(表 5)表明,不论施钾还是不施钾各处理,土壤缓效钾和速效钾含量呈下降趋势。下降幅度基本是施钾处理小于不施钾处理。不施钾肥四处理(CK、N、NP、 M_1)土壤缓效钾、速效钾含量下降幅度较大,分别下降 18%~26%、26%~41%;施钾各处理土壤缓效钾下降较少(其中秸秆还田配施化学肥料(M_2 NPK)和有机肥配施化肥增量(M_1 (NPK)_h)两处理下降较少,下降幅度不足 5%),且各施钾处理速效钾含量基本与试验初期(1991 年)持平,这些结果说明,长期施钾对紫色土钾库具有一定的平衡作用,能够维持紫色土的持续供钾能力。因此,为了保持紫

表 5 长期施钾紫色土缓效钾、速效钾含量变化

Table 5 Effect of long-term K application on slowly available K and available K content in purple soil (mg kg^{-1})

处 理 Treatment	不同年份缓效钾 Slowly available K in different years			不同年份速效钾 Available K in different years		
	1991	1996	2000	1991	1996	2000
CK	587.4	448.1	432.5	94.9	72.3	70.0
N	556.2	468.4	456.2	114.9	74.0	67.9
NP	566.1	440.2	430.6	88.6	67.0	56.0
NK	569.5	548.1	537.0	89.8	86.2	85.5
HK	592.1	520.1	524.2	92.1	108.5	113.4
NPK	566.9	502.1	482.9	85.2	87.2	84.2
M_1	570.5	518.7	470.1	102.3	75.9	66.2
M_1 NPK	560.3	523.5	482.0	89.2	86.9	83.1
M_1 P(NK) _{cl}	563.8	488.2	486.0	90.9	81.5	60.5
M_1 (NPK) _h	569.1	530.5	545.8	90.7	86.2	83.3
M_2 NPK	554.1	527.8	547.0	89.3	92.1	88.1

色土钾素肥力,进一步普及钾肥的施用,提倡作物秸秆还田是必要的。表5中资料还可见,磷钾处理(PK)土壤速效钾呈上升趋势,原因可能是由于长期不施氮肥,土壤速效氮逐年下降(1991年为 92 mg kg^{-1} ,1996为 79 mg kg^{-1} ,2000年下降到 67 mg kg^{-1})⁽¹⁾,致使作物氮素营养逐渐缺乏,N、P、K比例严重失衡,作物生长发育不良,随作物生物产量而带走的钾素逐年减少。

土壤中的钾以多种形态存在,根据钾在土壤中的活动性,从植物营养学的角度可将土壤钾素划分为:速效钾、缓效钾和矿物钾三部分。土壤中各钾素形态总是处于一种动态平衡之中,但是对于耕作土壤,由于人为的施肥和翻耕,常常打乱土壤各钾素形态原有的平衡,导致它们之间相互转化,其转化速率、数量与土壤本身的矿物特性、粘粒含量的多少等因素有关,决定了土壤的供钾能力。不施钾肥四处理土壤速效钾、缓效钾大幅度下降;而施钾各处理土壤速效钾基本维持在试验初期的水平且缓效钾下降幅度较小。这表明与不施钾处理相比,施钾各处理土壤速效钾、缓效钾在土壤全钾中的比例呈上升趋势。说明长期施钾有利于紫色土供钾能力的改善。

2.3 不同施钾处理土壤钾素输入支出平衡状况

不同处理土壤钾素收支状况(表6)表明,9年稻麦轮作中磷钾(PK)、化肥增量($M_1(\text{NPK})_h$)和秸秆还田配施化肥($M_2\text{NPK}$)三处理土壤钾素输入支出基本平衡,其余各处理不论施钾与否,土壤钾库均不同程度亏损,且不施比施钾处理亏损更多。PK处理9年土壤钾素收支基本平衡且有一定盈余,这主要是由于9年连续不施氮肥,土壤氮素缺乏,作物生长发育不良,对钾素需求减少,每季施钾肥土壤钾库又得到一定的补充。施钾各处理9年稻、麦总带走的钾素比不施钾肥的四个处理(CK、N、NP、 M_1)平均高53%,但这些处理其稻、麦产量增加并不与其吸钾量成比例,仅比不施钾的四个处理高31%(表3),说明施钾处理中作物对钾素存在奢侈吸收。因而,如何在紫色土合理施用钾肥使作物既增产又不造成奢侈吸收,提高钾肥利用效应,有待进一步研究。

表6 长期施钾紫色土钾素收支平衡状况

Table 6 Balance of soil K in different K application treatments for purple soil from 1991 to 2000 ($\text{K}_2\text{O kg hm}^{-2}$)

处理 Treatment	总施入钾 ¹⁾ Total applying K	总吸收钾 ²⁾ Total output K	土壤钾素平衡状况 ³⁾ Balance of soil K
CK	—	863.1	- 863.1
N	—	1401.6	- 1401.6
NP	—	1686.6	- 1686.6
NK	1260	1858.9	- 598.9
PK	1260	1194.8	+ 66.2
NPK	1260	1972.9	- 712.9
M_1	434.7	1134.8	- 700.1
$M_1\text{NPK}$	1431.5	1927.5	- 496.0
$M_1\text{P}(\text{NK})_d$	1571.4	2278.8	- 707.4
$M_1(\text{NPK})_h$	2201.4	2195.3	+ 6.1
$M_2\text{NPK}$	2221.2	2233.4	- 12.2

1) 9年施入土壤的总钾量; 2) 9年水稻、小麦籽粒、秸秆的吸钾总量; 3) 9年施入总钾量- 作物吸收总钾量

从维持紫色土土壤钾库平衡的角度来看,PK、 $M_1(\text{NPK})_h$ 、 $M_2\text{NPK}$ 三处理9年土壤钾素收支基本平衡。PK处理(缺氮),氮、磷、钾比例严重失衡,不利于作物的生长发育和产量品质的改善,是不可取的。 $M_1(\text{NPK})_h$ 和 $M_2\text{NPK}$ 比较, $M_1(\text{NPK})_h$ 处理因氮磷钾投入的增加而提高了成本,降低产投比,从经济效益的角度来看,是不可取的。长期秸秆还田并配施化学钾肥,不仅维持了紫色土钾库的平衡,保持了紫色土的持续供钾能力,而且长期秸秆还田能促进土壤有机无机复合体和微团聚体的形成,既能提高了土壤有机质含量,更新和活化老的有机质,改善腐殖质品质^[10-13],又能带入大量氮、磷、钾养分及微量元素,

(1) 熊明彪博士论文试验结果,未发表

提高土壤酶活^[14], 从而全面提高土壤肥力。因此, 在稻麦水旱轮作中, 在每年 7 500 kg 秸秆还田(稻秆)的基础上, 每季每公顷施用钾肥(K_2O) 70 kg 左右是维持紫色土钾库平衡的有效措施。

3 结 论

1. 长期施钾水稻、小麦表现出明显增产效应, 氮钾肥表现出明显的正交互作用。
2. 长期施钾有利于紫色土供钾能力的改善。
3. 长期施钾肥能维持紫色土有效钾库的平衡, 保持紫色土的持续供钾能力。
4. 在稻麦轮作中, 在每年 7 500 kg hm^{-2} 稻秆还田的基础上, 每季施 70 kg hm^{-2} 左右钾(K_2O) 是维持紫色土土壤钾库平衡的有效措施。

参考文献

1. 杨永春, 尹义平, 高士莘, 等. 缺钾土壤增施钾肥对小麦的增产效果. 江苏农业科学, 1997, (1): 47~ 48
2. 李冬花, 郭瑞林, 张毅, 等. 钾肥对小麦产量及营养品质的影响研究. 河南农业大学学报, 1997, 31(4): 357~ 361
3. 冯献忠, 郭蔼光, 张慧, 等. 钾对夏谷灌浆过程中蛋白质周转的影响. 西北农业学报, 1997, 6(2): 61~ 63
4. 赵月平, 谭金芳, 赵鹏, 等. 冬小麦、夏玉米轮作下两种土壤钾素动态变化与钾肥合理分配的研究. 土壤肥料, 1997, (1): 36~ 38
5. 农业部科技司编. 中国南方农业中的钾. 北京: 中国农业出版社, 1991. 25~ 26
6. 何天秀, 何成辉, 王正银. 钾肥对红皮萝卜产量及硝酸盐含量的影响. 西南农业大学学报(副刊), 1994, (9): 48~ 50
7. 屈明, 魏朝富, 谢德体, 等. 四川紫色土水稻土钾的形态和固定. 西南农业大学学报, 1993, 15(3): 189~ 193
8. 王成秋, 魏朝富, 杨剑虹, 等. 柑橘配施氮、磷、钾肥效应研究初报. 中国南方果树, 1996, 25(1): 3~ 6
9. 南京农业大学编. 土壤农化分析(第二版). 北京: 农业出版社, 1992. 89~ 91, 218~ 219
10. 汪寅虎. 长期定位条件下秸秆还田的综合适应研究. 土壤通报, 1994, 25(7): 53~ 56
11. 魏朝富, 陈世正, 谢德体. 长期施用有机肥对紫色土水稻土有机无机复合性状的影响. 土壤学报, 1995, 32(2): 159~ 166
12. 奚森, 陈恩凤, 须湘成, 等. 施用有机肥料对土壤胡敏酸结构特征的影响——胡敏酸的光学性质. 土壤学报, 1995, 32(1): 41~ 49
13. 黄不凡. 绿肥、麦秸还田培养地力的研究. 土壤学报, 1984, 2: 1~ 12
14. 赵哲权, 王明九, 邢建民. 施用作物秸秆对土壤酶活性的影响. 土壤肥料, 1990, 3: 28~ 29

EFFECTS OF LONG-TERM POTASSIUM APPLICATION ON YIELD AND SOIL POTASSIUM IN RICE-WHEAT CROPPING SYSTEM IN PURPLE SOIL

Xiong Ming-biao¹ Shu Fen² Song Guang-yu¹ Shi Xiao-jun¹ Mao Zhi-yun¹

(1 College of Resources and Environment, Southwest Agricultural University, Chongqing 400716, China)

(2 Station of Agrotechnique and Service, Hechuan, Chongqing 401538, China)

Summary

Effects of long-term K application on crop yield and soil K content and forms in rice-wheat rotation were studied. The results showed that long-term K application markedly increased crop yield, the balance of the available K in purple soil was maintained and the ability of soil to supply K was raised. A joint application of rice straw ($7\ 500\ kg\ hm^{-2}\ a^{-1}$) and chemical K fertilizer (about $K_2O\ 140\ kg\ hm^{-2}\ a^{-1}$) is recommended to keep the balance of K in purple soil.

Key words Long-term K application, Rice-wheat yield, Soil K content and forms, Purple soil, Fix-point experiment