

枸溶性钾肥对油菜生长及土壤钾素的影响

张洋洋 任涛 薛欣欣 张丽 李小坤 鲁剑巍

华中农业大学资源与环境学院/农业部长江中下游耕地保育重点实验室, 武汉 430070

摘要 采用盆栽试验方法, 研究枸溶性钾肥不同用量对油菜生长及土壤钾素的影响。结果表明: 枸溶性钾肥能够明显促进油菜的生长并增加土壤钾素含量。施钾量(K_2O)为 0.75~3.00 g/盆(0.075~0.300 g/kg)时油菜生物量与钾素积累量随着施钾量的增加呈先上升后下降的趋势, 在施钾量为 2.25 g/盆时达到最高, 分别较对照处理增加 70.6% 和 3.08 倍。油菜钾素含量随着施钾量的增加而升高, 而钾肥利用率则相反。油菜收获后的土壤速效钾和缓效钾含量随施钾量的增加而增加。枸溶性钾肥的适宜用量为 1.50~2.25 g/盆。在试验条件下, 等量钾养分投入时, 枸溶性钾肥处理的油菜生物量、钾素含量、钾素积累量、肥料利用率及土壤钾素含量均略高于水溶性钾肥处理。从钾的养分供应角度考虑, 枸溶性钾肥可以替代水溶性钾肥。

关键词 枸溶性钾肥; 油菜; 生物量; 肥料利用率; 土壤钾素

中图分类号 S 143.3⁺9 **文献标识码** A **文章编号** 1000-2421(2013)06-0086-05

为保障农业生产的可持续发展, 我国钾肥的施用量(K_2O)从 1990 年的 147 万 t 增加到 2011 年的 605.1 万 t(不包括复合肥), 但缺钾土壤面积仍在不断扩大, 因此, 重视钾肥的施用及提高肥料利用率十分重要^[1-3]。我国可溶性钾矿资源短缺, 近几年来国产钾肥产量有所增加, 但每年施用的钾肥仍有 50% 左右依赖进口。钾肥自给率低的现状不仅制约着我国农业生产的发展, 而且已成为影响我国粮食安全的重要因素^[4-5]。实际上, 我国难溶性钾矿资源丰富, 如钾长石、明矾石、伊利石等分布全国各地, 但由于技术及成本等方面的原因未能对其进行充分的开发利用^[6]。在促进大型可溶性钾肥生产的同时, 拓宽钾源, 突破难溶性钾矿生产钾肥的技术瓶颈和经济因素受到越来越多人的关注, 并已取得一些进展^[7-10]。许多学者开展了钾硅矿物肥应用于粮食作物及蔬菜果品生产的研究。章彪雄等^[11]研究表明, 钾硅肥能够提高早稻的籽粒产量和抗病性。李吉进等^[12]指出钾硅肥在提高油菜植株体内维生素 C 含量的同时还可以降低硝酸盐的含量。冯琛^[13]研究表明, 钾硅肥能够提高作物产量和改善作物品质。有关矿物钾肥的研究有所进展, 但由于成本较高、部分产品效果并不十分显著或未能证明其有效成分是

钾占主导作用而未能大量投产, 导致其实际应用有限。因此, 有关矿物钾肥的研究仍需进一步完善与改进。笔者以富钾矿物通过工艺加工变性而得的枸溶性钾硅肥为材料, 考察枸溶性钾硅肥不同施用量对作物的增产和供钾效果以及对土壤钾的影响, 并与常规的水溶性硫酸钾肥施用效果进行比较, 以期为难溶性的钾矿科学开发和合理施用提供依据。

1 材料与amp;方法

1.1 供试材料

土壤取自湖北省武穴市, 系花岗片麻岩母质发育的水稻土, 其基本理化性质为: pH 5.1, 有机质 18.47 g/kg, 全氮 1.27 g/kg, 全钾 21.21 g/kg, 速效磷 13.3 mg/kg, 速效钾 77.7 mg/kg, 缓效钾 184.0 mg/kg, 属缺钾土壤。供试作物为油菜(*Brassica napus* L.), 品种为青杂 5 号。枸溶性钾肥是由富含钾的多种矿物通过工艺加工而成的一种不溶于水但溶于 2% 柠檬酸的钾肥, 以 2% 的柠檬酸浸提后用肥料钾标准测定方法测定, 钾(K_2O)含量为 27%^[14-15], 缓效钾含量为 25%, 有效硅(SiO_2)含量约为 20%, pH 值 11.2, 全钙和镁含量为 4%。供试

收稿日期: 2013-03-26

基金项目: 公益性行业(农业)科研专项(201203013)

张洋洋, 硕士研究生, 研究方向: 土壤肥力. E-mail: zyy19890202@webmail.hzau.edu.cn

通讯作者: 鲁剑巍, 博士, 教授, 研究方向: 土壤肥力. E-mail: lunm@mail.hzau.edu.cn

的水溶性钾肥为硫酸钾(分析纯),含水溶性钾(K_2O) 54%。氮、磷和硼肥品种分别为尿素(含N 46%)、磷酸二氢铵(含 P_2O_5 62%)和速乐硼(含硼 20%)。

1.2 试验设计

于2012年2月13日开始在华中农业大学盆栽试验场进行盆栽试验,每盆装土10 kg,当天施肥和播种,出苗后(播种后第10天)间苗,每盆留5株苗,4月28日收获。第2季于2012年4月29日播种及施入氮肥,每盆播种15粒,出苗后(播种后第15天)间苗,每盆留10株苗,6月3日收获。试验期间其他栽培措施按照常规方法进行。试验设6个处理,分别为 K_0 ,对照处理,不施钾肥(只施N、P、B); K_1 ,枸溶性钾肥用量(以 K_2O 计,下同)为0.75 g/盆(0.075 g/kg); K_2 ,枸溶性钾肥用量为1.50 g/盆; K_3 ,枸溶性钾肥用量为2.25 g/盆; K_4 ,枸溶性钾肥用量为3.00 g/盆; K_{2S} ,水溶性钾肥用量为1.50 g/盆。第1季各处理氮(N)、磷(P_2O_5)、硼(B)肥用量相同,分别为2.00、1.00、0.12 g/盆(0.200、0.100、0.012 g/kg)。第2季各处理只施氮肥1.0 g/盆。第1季所有肥料均用作基肥,与土壤充分混匀后装入塑料盆中,第2季氮肥溶于水后浇施。各处理5次重复,试验数据为5次重复的平均值。

1.3 测定项目

油菜地上部收获烘干至恒质量,称质量计产,植株钾素含量采用1 mol/L HCl振荡2 h浸提,用火焰光度计进行测定^[16]。油菜第1季和第2季收获后当天每盆分别取土,风干过筛后制样测定土壤钾

素含量。供试土壤基础性质测定、试验期间所取土壤样品速效钾和缓效钾含量均采用土壤理化分析常规方法^[16]。有关参数计算方法^[17-19]:钾素积累量(g/盆)=生物量×钾素含量;钾肥利用率=(施钾处理植株总吸钾量-对照处理植株总吸钾量)/钾肥用量×100%;固钾量=外源钾加入量-作物从肥料中吸收的钾量-(加外源钾处理风干后 NH_4OAC 浸提钾量-未加外源钾处理风干后 NH_4OAC 浸提钾量);固钾率=固钾量/(外源钾加入量-作物从肥料中吸收的钾量)×100%。

1.4 数据处理

应用Excel软件对试验数据进行统计分析,采用LSD法检验试验数据的差异显著性。

2 结果与分析

2.1 枸溶性钾肥对油菜生物量的影响

试验结果表明,施钾能显著增加油菜生物量。由表1可知, $K_1 \sim K_3$ 处理施钾范围内两季油菜生物量均随着施钾量的增加而增加,超过 K_3 处理施钾量后油菜生物量有下降趋势。4个施钾水平中两季油菜生物量均以 K_3 处理最高,与对照处理相比分别增加48.9%和120.1%,但与 K_2 和 K_4 处理间无显著差异。油菜总生物量以 K_2 和 K_3 处理较高,分别较对照处理增加61.2%和70.6%。当施钾量相等时, K_2 处理(枸溶性钾肥)的两季油菜生物量与 K_{2S} 处理(水溶性钾肥)相比分别增加7.3%和3.9%,但二者之间差异未达显著性水平。

表1 枸溶性钾肥对油菜生物量的影响¹⁾

Table 1 Effect of citrate acid-soluble potassium fertilizer on rapeseed biomass

处理 Treatment	第1季生物量/(g/盆) The first season biomass	第2季生物量/(g/盆) The second season biomass	合计 Total	
			生物量/(g/盆) Biomass	增产率/% Increased rate
K_0	7.20 b	3.19 c	10.40 c	/
K_1	9.10 a	4.84 b	13.94 b	34.0
K_2	10.63 a	6.13 ab	16.76 a	61.2
K_3	10.72 a	7.02 a	17.74 a	70.6
K_4	9.58 a	6.44 a	16.02 ab	54.0
K_{2S}	9.91 a	5.90 ab	15.81 ab	52.0

1)同一指标不同小写字母表示 $P < 0.05$,下同。Different letters for same item indicate significant differences at $P < 0.05$ level. The same as below.

2.2 枸溶性钾肥对油菜钾素含量的影响

试验结果表明,施钾能显著提高油菜钾素含量,且两季油菜钾素含量均随着施钾量的增加而升高(图1)。4个施钾水平中 K_1 处理的两季油菜钾素含量最高,其次为 K_3 处理,二者差异不显著,分别较对

照不施钾处理提高1.27、1.31倍和1.66、1.80倍。施钾量相等的 K_2 和 K_{2S} 处理对两季油菜钾素含量的影响不同。 K_2 处理的第1季油菜钾素含量略低于 K_{2S} 处理,第2季则相反,但未达显著性水平,2个处理的两季油菜钾素含量均显著高于对照处理和

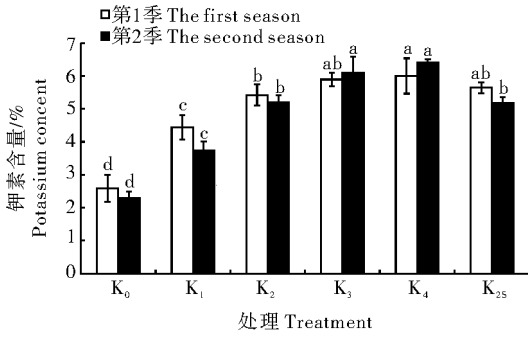


图 1 枸溶性钾肥对油菜钾素含量的影响

Fig. 1 Effect of citrate acid-soluble potassium fertilizer on potassium nutrient content of rapeseed

K₁ 处理。

2.3 枸溶性钾肥对油菜钾素积累量及肥料利用率的影响

油菜钾素积累量结果表明,施钾肥能增加油菜钾素积累量(表 2)。4 个施钾水平中 K₃ 处理的两季

表 2 枸溶性钾肥对油菜钾素积累量及钾肥利用率的影响

Table 2 Effect of citrate acid-soluble potassium fertilizer on potassium accumulation and nutrient utilization efficiency of rapeseed

处理 Treatment	第 1 季钾素积累量/(g/盆) The first season K accumulation	第 2 季钾素积累量/(g/盆) The second season K accumulation	合计 Total	
			钾素积累量/(g/盆) K accumulation	钾肥利用率/% K use efficiency
K ₀	0.19 c	0.07 d	0.26 e	/
K ₁	0.41 b	0.18 c	0.59 d	52.5 a
K ₂	0.58 a	0.32 b	0.89 bc	50.7 a
K ₃	0.63 a	0.43 a	1.06 a	42.7 a
K ₄	0.57 a	0.41 a	0.98 ab	29.0 b
K ₂₅	0.56 a	0.30 b	0.86 c	48.2 a

2.4 枸溶性钾肥对土壤速效钾和缓效钾含量的影响

试验结果表明,施钾能显著增加土壤速效钾和缓效钾含量,而且随着施钾量的增加而增加(表 3)。随着油菜的种植,土壤速效钾和缓效钾含量有所降低,其中第 2 季油菜收获后缺钾处理 K₀ 土壤速效钾含量较基础土样(速效钾含量为 77.7 mg/kg)降低 41.2 mg/kg。两季油菜收获后 K₄ 处理的土壤速效

油菜钾素积累量及油菜总钾素积累量均最高,分别比对照不施钾处理增加 2.31、5.14、3.08 倍。施钾量相等的 K₂ 处理与 K₂₅ 处理相比,其两季油菜钾素积累量均略高,且二者均显著高于对照处理,但二者之间差异未达显著性水平。

不同枸溶性钾肥用量下,油菜钾肥利用率存在明显差异(表 2)。钾肥利用率随着施肥量的增加而下降,即钾肥增产效益随施钾量增加而降低。K₁~K₄ 处理的钾肥利用率分别为 52.5%、50.7%、42.7%和 29.0%,其中 K₁、K₂ 和 K₃ 处理钾肥利用率显著高于 K₄ 处理。施钾量相等的 K₂ 处理的钾肥利用率与 K₂₅ 处理相比高 2.5 个百分点,但这 2 种处理之间差异不显著。研究结果表明,施钾能够提高油菜钾肥利用率,但施用较多钾肥时油菜钾肥利用效率反而会下降,而枸溶性钾肥效果优于传统水溶性钾肥。

钾和缓效钾含量均最高,分别较对照不施钾处理增加 185.2、129.3 mg/kg 和 100.9、57.2 mg/kg,且第 1 季油菜收获后的速效钾含量和缓效钾含量及第 2 季收获后的速效钾含量显著高于其他处理,而第 2 季油菜收获后的土壤缓效钾含量与 K₂ 和 K₃ 处理间差异不显著。在相同钾肥用量的情况下,枸溶性钾肥(K₂)和硫酸钾处理(K₂₅)两季油菜的土壤速效钾和缓效钾含量并无明显的差异。本试验条件下,钾

表 3 枸溶性钾肥对土壤钾素的影响

Table 3 Effect of citrate acid-soluble potassium fertilizer on soil potassium

处理 Treatment	速效钾含量/(mg/kg) Available K content		缓效钾含量/(mg/kg) Slowly available K content		固钾量/(mg/kg) K fixation quantity	固钾率/% K fixation rate
	第 1 季 First season	第 2 季 Second season	第 1 季 First season	第 2 季 Second season	第 2 季 Second season	第 2 季 Second season
	K ₀	50.5 e	36.5 d	188.6 d	185.8 c	/
K ₁	77.7 d	50.2 d	208.8 cd	201.5 bc	16.0 b	57.8 a
K ₂	126.3 c	75.1 c	225.2 bc	221.4 ab	23.0 b	37.3 b
K ₃	161.9 b	104.9 b	252.0 b	230.3 a	39.1 a	36.6 b
K ₄	235.7 a	165.8 a	289.5 a	243.0 a	48.1 a	27.2 b
K ₂₅	124.3 c	74.5 c	209.9 cd	203.6 bc	26.8 b	41.9 ab

肥用量是影响土壤固钾量和固钾率的重要因素,随着钾肥用量的增加土壤固钾量逐渐增加,固钾率呈现相反趋势。钾肥的形态对土壤固钾量和固钾率没有明显影响, K_2 处理和 K_{2s} 处理之间的固钾量和固钾率均没有显著性差异。

3 讨论

钾不仅可以促进蛋白质的合成、作物体内同化产物的运输和能量转化以及增加植物的抗逆性,而且在维持作物高产和优质方面起着重要作用^[20-25]。在本试验条件下, K_3 处理的油菜生物量最高,与对照不施钾肥相比,两季油菜总生物量提高70.6%,但与 K_2 和 K_4 处理的油菜生物量无显著性差异; K_3 和 K_4 处理的两季油菜钾素含量分别较对照不施钾处理提高1.27、1.31倍和1.66、1.80倍,且显著高于其他施钾水平;油菜两季钾素积累量均以 K_3 处理最高,其两季总钾素积累量比对照不施钾处理增加3.08倍;钾肥利用率随着施钾量的增加而下降。土壤速效钾和缓效钾含量随着钾肥用量的增加而增加,这与陈亚恒等^[26]的研究结果一致。枸溶性钾肥用量在3.00 g/盆时,两季油菜收获后的土壤速效钾和缓效钾含量均最高,分别较对照不施钾处理增加185.2、129.3 mg/kg和100.9、57.2 mg/kg。结果表明,枸溶性钾肥的适宜用量为1.50~2.25 g/盆。钾肥用量相同时,枸溶性钾肥处理的油菜生物量、钾素含量、钾素积累量、钾肥利用率及土壤速效钾和缓效钾含量均略高于传统水溶性钾肥处理,但二者之间差异性未达显著性水平,说明在等量钾养分投入条件下,枸溶性钾肥和水溶性钾肥均能有效为作物提供钾素养分,且枸溶性钾肥效果好于水溶性钾肥。另外,测定结果亦显示各处理中油菜的硅、钙及镁含量并无显著性差异(数据未给出),说明枸溶性钾硅肥的增产作用中钾占主导地位,而枸溶性钾肥中的硅、钙、镁等对作物有益的中微量元素则通过促进植物对钾的吸收及改善土壤理化性质而起到一定的辅助作用^[27-28]。研究^[29]表明,当肥料呈碱性时,土壤pH值是影响肥料溶解性的重要因素,肥料pH值越低,溶解程度越高。因此,在酸性土壤上施用该肥料时,其中的有效钾可能并不是一次性全部释放,从这个角度来看,该肥料可能具有一定的缓释功能。在生产中大部分钾肥以基肥的形式施用,若遇强降雨或过量灌溉,钾素的流失不可避免^[30],而施用枸溶性的钾肥在保证土壤钾素供应的同时,则可减少钾

素的淋失,增加后期土壤供应,从而促进作物对钾素的吸收利用,提高钾肥的利用率。

参 考 文 献

- [1] 谢建昌,周健民.我国土壤钾素研究和钾肥使用的进展[J].土壤,1999(5):244-254.
- [2] 中华人民共和国国家统计局.中国统计年鉴[M].北京:中国统计出版社,2012.
- [3] ZHEN L,ZOEBISCH M A,CHEN G B,et al.Sustainability of farmers' soil fertility management practices:a case study in the North China Plain[J].J Environ Manage,2006,79(4):409-419.
- [4] 张智峰,张卫峰.我国化肥施用现状及趋势[J].磷肥与复肥,2008,23(6):9-12.
- [5] 刘方斌.钾肥:稳健增长供需平衡[J].中国石油和化工,2012(2):32.
- [6] 王静康,郝红勋,谢闯,等.中国钾肥产业的过去、现在和未来[C].国际钾肥博览会论文集.北京:中国无机盐工业协会钾盐分会,2008:148-154.
- [7] 姬海鹏,徐锦明.利用钾长石提钾的研究进展[J].现代化工,2011,31(S1):30-33.
- [8] 马鸿文,冯武威,苗世顶,等.一种新型钾矿资源的物相分析及提取碳酸钾的实验研究[J].中国科学:D辑,2005,35(5):420-427.
- [9] 牟志远,苏静.富钾板岩综合利用的研究(下)[J].轻金属,2009(5):11-13,18.
- [10] 汪家铭.富钾岩石水热法生产钾硅钙微孔矿物肥料工艺开发成功[J].大氮肥,2011(2):131.
- [11] 章彪雄,黄庆海,黄天宝,等.长效硅钾肥在红壤性早稻田上的施用效果[J].江西农业学报,2008,20(5):119-120.
- [12] 李吉进,张青,邹国元,等.硅钾矿物肥料在油菜上的盆栽应用效果[J].蔬菜,2010(3):37-39.
- [13] 冯琛.硅钙钾肥在陕西省农作物应用效果试验研究初报[J].陕西农业科学,2005(6):14-15,23.
- [14] 赵延华.轻烧镁中枸溶性镁测定方法研究[J].中国土壤与肥料,2010(1):81-83.
- [15] 鲍士旦.土壤农化分析[M].北京:中国农业出版社,2000.
- [16] 姜存仓.不同基因型棉花对钾的反应差异及其机理研究[D].武汉:华中农业大学图书馆,2006.
- [17] 张福锁,马文奇,陈新平,等.养分资源综合管理理论与技术概论[M].北京:中国农业出版社,2006.
- [18] 刘晓伟,鲁剑巍,李小坤,等.直播冬油菜干物质积累及氮磷钾养分的吸收利用[J].中国农业科学,2011,44(23):4823-4832.
- [19] 张会民,徐明岗,吕家珑,等.长期施钾下中国3种典型农田土壤钾素固定及其影响因素研究[J].中国农业科学,2007,40(4):749-756.
- [20] 林昌华,樊小林,陈晓远,等.控释钾配方肥对烤烟产量和烟叶含钾量的影响[J].华中农业大学学报,2012,31(6):720-724.
- [21] 张丽,张洋洋,薛欣欣,等.不同形态钾肥在油菜上的施用效果

- [J]. 湖北农业科学, 2012, 51(16): 3442-3444.
- [22] 李银水, 鲁剑巍, 廖星, 等. 钾肥用量对油菜产量及钾素利用效率的影响[J]. 中国油料作物学报, 2011, 33(2): 152-156.
- [23] 闫春娟, 韩晓增, 王文斌, 等. 水钾耦合对大豆光合特性及其产物积累运转的影响[J]. 中国油料作物学报, 2012, 34(1): 48-55.
- [24] 李继福, 王寅, 李小坤, 等. 鄂东地区油菜施钾效果及其适宜用量[J]. 华中农业大学学报, 2011, 30(6): 722-726.
- [25] KAITH N S, MEHTA D K, SHARMA U. Effect of different levels of potassium on growth, yield and fruit quality of apple (*Malus domestica* Borkh) [J]. Journal of Hill Agriculture, 2010, 1(2): 160-163.
- [26] 陈亚恒, 刘会玲, 崔江惠, 等. 不同施钾量对土壤钾素的动态影响[J]. 河南农业科学, 2009(8): 75-77.
- [27] 赵风兰, 高红莉, 慕兰, 等. 硅钾肥产业化风险评价及前景分析[J]. 地域研究与开发, 2006, 25(6): 126-128.
- [28] 韦忠, 沈方科, 王蕾, 等. 施用钙镁对烤烟钾吸收、循环和含量的影响[J]. 中国烟草科学, 2011, 32(4): 66-70.
- [29] 贺祯, 殷海荣, 王薇, 等. pH值对缓释性钾肥溶出性能的影响研究[J]. 陕西科技大学学报: 自然科学版, 2010, 28(4): 1-4.
- [30] 和林涛, 石孝均, 易时来. 不同氮处理下紫色土钾素淋失动态研究[J]. 西南大学学报: 自然科学版, 2007, 29(7): 96-101.

Effect of citrate acid-soluble potassium fertilizer application rate on rapeseed growth and soil potassium content

ZHANG Yang-yang REN Tao XUE Xin-xin ZHANG Li LI Xiao-kun LU Jian-wei

College of Resource and Environment, Huazhong Agricultural University/

Key Laboratory of Arable Land Conservation (Middle and Lower Reaches of Yangtse River),

Ministry of Agriculture, Wuhan 430070, China

Abstract The effects of citrate acid-soluble potassium fertilizer on rapeseed growth and soil potassium were studied with the pots experiment. The results showed that the citrate acid-soluble potassium fertilizer could promote the growth of rapeseed and increased the content of soil potassium. The biomass and potassium accumulation of rapeseed were increased and then decreased with the increase of application rate of potassium-silicon mineral fertilizer when the potassium rates was 0.75-3.00 g K₂O/pot (0.075-0.300 g/kg). The biomass and potassium accumulation of rapeseed were the highest with potassium rates of 2.25 g/pot. Compared with treatment of no potassium, rapeseed biomass was 70.6% and the total potassium accumulation increased by 3.08 times. The potassium content of rapeseed was increased with the increase of application rate of potassium fertilizer, nevertheless, the nutrient utilization efficiency was opposite. The content of soil available K and slowly available K was increased with the increase of application rate of potassium fertilizer. Comprehensive results showed that the optimum citrate acid-soluble potassium fertilizer application was 1.50-2.25 g/pot. Under the condition of this experiment and the same potassium nutrient supply, the biomass, potassium nutrient content, potassium accumulation nutrient fertilizer utilization and soil potassium content of citrate acid-soluble potassium fertilizer of rapeseed was higher than water-soluble potassium fertilizer, indicating that citrate acid-soluble potassium fertilizer can replace water-soluble potassium fertilizer from the perspective of potassium nutrient supply.

Key words citrate acid-soluble potassium fertilizer; rapeseed; biomass; nutrient utilization efficiency; soil potassium