

鄂东地区油菜施钾效果及其适宜用量

李继福¹ 王寅¹ 李小坤¹ 鲁剑巍¹ 刘光文² 翟中兵²

1. 华中农业大学资源与环境学院, 武汉 430070; 2. 湖北省武穴市土壤肥料工作站, 武穴 435400

摘要 2008—2009年度在湖北省武穴市以华双4号为试验对象,开展油菜不同钾肥用量大田试验,探讨钾肥施用对鄂东地区油菜生长发育、籽粒产量及其构成因素、养分吸收与累积和钾肥利用率的影响,并建立肥效模型确定油菜的钾肥适宜施用量。结果表明:适量施钾有效促进油菜苗期的生长发育,利于安全越冬,并显著提高成熟期植株有效分枝数和单株角果数。钾肥施用量为180 kg/hm²时,油菜的地上部干物质质量、籽粒产量和钾素累积量均达到最大值,分别为10 410 kg/hm²、2 791 kg/hm²和235.7 kg/hm²,施钾纯收益为1 967元/hm²。结合肥效模型及油菜施钾效果,确定在该试验条件下油菜钾肥推荐施用量为160 kg/hm²。

关键词 油菜; 钾肥; 产量; 养分吸收与累积; 推荐施肥量; 肥效模型

中图分类号 S 565.406 **文献标识码** A **文章编号** 1000-2421(2011)06-0722-05

油菜是我国重要的油料作物,2008—2009年菜籽油占我国油料作物产油量的57.2%,占总消费量的17.4%,远远高于其他油料作物,地位极为重要。长江流域是我国乃至世界重要的油菜产区,种植面积和总产量均占世界的25%左右,而长江流域也是我国传统的油菜籽消费集中区域^[1]。因此,油菜生产状况关系到众多人口的食品安全和油菜产业的健康发展。鄂东地区位于长江中游,是湖北省重要的油料作物生产基地,常年种植面积15.06万hm²,该地区气候温和、光照充足、雨量丰沛,土地利用效率和耕地复种指数很高,油-稻-稻三熟制是当地的主要种植模式^[2]。因耕作土地休闲时间短,作物带走的养分多,秸秆还田和有机肥施用量均很低,农田钾素平均亏缺量(K₂O)为60~130 kg/hm²^[3];另一方面,农民科学施肥意识不高,盲目施肥现象比较普遍,从而导致农田中钾素缺乏程度日益加重。到目前为止,钾肥施用并未引起农民的足够重视^[4]。近20年来,长江流域主要种植的冬油菜品种由白菜型油菜到双高甘蓝型发展为优质双低甘蓝型,品种结构变化巨大^[5],单产水平也有较大提高,对钾肥的需求量也随之增加。相关研究已表明施钾可促进油菜生长发育^[6]、增强其抗逆性^[7-8],并显著提高籽粒产量和含油量^[9]。但是,国内钾肥资源紧缺,进口依

赖度高达70%,钾肥价格偏高、进口量不断增长已经成为限制农业持续发展的重要问题^[10],如何科学、合理地施用钾肥就显得至关重要。为此,作者所在课题组2008—2009年度在鄂东武穴市开展钾肥用量试验,研究施钾对油菜生长发育、产量、养分含量及养分累积的影响,并确定最佳施钾量,以期为该地区及长江流域复种指数较高的相似地区的油菜合理施钾提供依据。

1 材料与方 法

1.1 试验材料

田间试验布置在湖北省油菜主产区武穴市大法寺镇大屋雷村,供试土壤属水稻土,质地偏黏,土壤基本理化性质:pH 7.14,有机质20.88 g/kg,碱解氮109.2 mg/kg,速效磷15.3 mg/kg,速效钾78.9 mg/kg。

供试油菜品种为华双4号,前茬作物为水稻。

供试肥料品种为尿素(含N 46%)、过磷酸钙(含P₂O₅ 12%)、氯化钾(含K₂O 60%)、硼砂(含B 11%)。

1.2 试验设计

试验共设5个钾肥(K₂O)水平,施钾量分别为:0、60、120、180和240 kg/hm²。油菜生育期内其他

收稿日期:2010-11-04

基金项目:国家自然科学基金项目(41001178)、“十一五”国家科技支撑计划重点项目(2010BAD01B05)和现代农业产业技术体系建设专项(CRS-13)

李继福,硕士研究生。研究方向:现代施肥技术。E-mail:lijifu1004@yahoo.com.cn

通讯作者:李小坤,博士,讲师。研究方向:作物养分管理与土壤肥力。E-mail:lixiaokun@mail.hzau.edu.cn

肥料用量保持一致,氮、磷及硼的用量分别为: N 180 kg/hm²、P₂O₅ 90 kg/hm²、硼砂 15 kg/hm²。氮肥 60%作基肥,20%作越冬肥,20%作薹肥;钾肥 70%基施,30%为薹肥;磷肥和硼肥全部作为基肥一次施用。

各处理设 3 次重复,小区面积 15 m²,随机区组排列。

油菜于 2008 年 9 月 15 日播种育苗,10 月 19 日移栽,密度为 10 万株/hm²,2009 年 5 月 8 日收获。田间生产管理均按当地实际生产措施进行。

1.3 土壤样品的采集与分析

土壤基础样品均为前茬水稻收获后、油菜基肥施用前采集。以整个试验田块为采样单元,在试验田块内均匀布点 15 个,取 0~20 cm 耕作层土壤,在实验室风干后磨细过孔径 0.84 mm 筛,供理化分析用。

土壤基本理化性质按常规法^[11]进行测定。土壤 pH 按水土比 2.5:1.0, pH 计测定;有机质采用重铬酸钾容量法;碱解氮采用碱解扩散法,标准酸滴定;速效磷采用 0.5 mol/L NaHCO₃ 浸提-钼锑抗比色法;速效钾用 1 mol/L NH₄OAc 浸提-火焰光度法。

1.4 油菜生长发育性状田间调查和实产统计

分别于 2008 年 12 月 23 日和 2009 年 4 月 25 日对试验田不同施钾处理油菜的苗期和成熟期生长发育情况进行田间调查。苗期调查内容包括株高、根颈粗、开盘直径(植株投影最大直径)和 SPAD;成熟期调查内容包括株高、根茎粗、一级分枝数、二级分枝数、单株角果数、每角粒数(角果中籽粒的个数,每株随机选取 30 个角果计平均值)和千粒重(测定随机 1 000 粒油菜籽的质量)等。每个小区选取 5 株有代表性的植株进行调查,各项指标取平均值作为调查结果。

2009 年 5 月 8 日对试验田的所有小区进行单收单打,测得实产。

1.5 植株养分测定

借鉴王伟妮等^[12]在水稻上的研究方法,收获时每个小区选取有代表性的 5 株油菜取样,风干,分为角壳、茎秆和籽粒三部分,测定干物质质量及 N、P、K 含量,计算养分积累量。

植物样品用浓 H₂SO₄-H₂O₂ 硝化,流动注射分析仪测定氮和磷,火焰光度法测定钾。

1.6 钾肥肥效模型和推荐用量的确定

根据肥料效应回归方程: $y = ax^2 + bx + c$ (式中 y 为油菜产量, x 为钾肥施用量)求算最高产量施肥量 $X_{max} = -b \div (2 \times a)$ 和最佳经济施肥量 $X_e = [(P_x \div P_y) - b] \div (2 \times a)$ (P_x 为钾肥价格, P_y 为油菜价格)。

1.7 参数计算方法和数据统计分析

钾肥农学利用率、钾肥偏生产力、钾素累积量、钾肥表观利用率、施用钾肥的纯收益以及产投比计算方法见文献^[13]。

试验数据采用 Excel 软件进行计算处理,方差分析用 SAS 8.1 软件处理, LSD 法检验 $P < 0.05$ 水平上的差异显著性。

2 结果与分析

2.1 钾肥施用对油菜生长发育的影响

表 1 显示,施钾量(K₂O)为 60 和 120 kg/hm² 时,油菜生长的各项指标均高于其他处理,并且与对照相比差异显著。其中,当施钾 120 kg/hm² 时株高、开盘直径、SPAD 和根茎粗均达最大值,分别为 66.4、68.4、12.81 和 2.12 cm,其后钾肥用量进一步增加,各指标呈下降趋势。可见,适量施钾有助于油菜苗期的生长发育。

表 1 钾肥施用对油菜苗期生长的影响¹⁾

Table 1 Effect of K application on the growth of rapeseed at seedling stage

K 肥用量/ (kg/hm ²)	株高/cm Plant height	根颈粗/cm Root diameter	开盘直径/cm Opening diameter	SPAD
0	58.4 b	1.80 b	59.8 b	12.16 b
60	65.9 a	2.04 a	67.6 a	12.64 a
120	66.4 a	2.12 a	68.4 a	12.81 a
180	62.7 ab	1.82 b	65.2 ab	11.73 c
240	61.8 ab	1.89 b	64.3 ab	11.95 c

1) 同一列数据中具有不同字母的数据有显著性差异($P < 0.05$),

下同。The mean values within a column followed by the same letters are significantly different ($P < 0.05$). The same as below.

表 2 显示,施钾有效促进了油菜成熟期的生长发育,利于产量构成因素的形成。与苗期相比,各试验处理成熟期油菜的株高和根茎粗均有明显增加,在施钾量为 120 kg/hm² 时达到最高值,增幅分别为 220.0% 和 21.2%;成熟期,与不施钾处理相比,施钾处理油菜的一级分枝数、二级有效分枝、单株角果数、每角粒数和千粒重分别平均增加 27.8%、100.0%、21.5%、7.4% 和 1.9%。各产量构成因素

随着施钾量的增加有升高的趋势,当施钾量为 180 kg/hm² 时达最大值。而施钾过多则造成产量构成 180 kg/hm² 之间有利于油菜的生长发育。

表 2 钾肥施用对油菜成熟期生长发育的影响

Table 2 Effect of K application on the growth of rapeseed at mature stage

K 肥用量/(kg/hm ²) K application rate	株高/cm Plant height	根茎粗/cm Root diameter	一级分枝数 No. of 1st branch	二级分枝数 No. of 2nd branch	单株角果数 Pods per plant	每角粒数 Seeds per pod	千粒重/g Weight of 1 000-seeds
0	198.8 a	2.38 b	9 b	3 b	350 c	17 b	3.59 a
60	210.8 a	2.47 ab	10 b	4 b	378 c	17 b	3.53 a
120	212.5 a	2.57 a	12 a	7 a	421 b	18 ab	3.70 a
180	211.6 a	2.54 a	12 a	7 a	469 a	19 a	3.71 a
240	209.1 a	2.56 a	12 a	6 ab	433 ab	19 a	3.69 a

2.2 钾肥施用对油菜干物质量、产量及经济效益的影响

由表 3 可知,施钾有利于油菜干物质量的积累。施钾量在 0~180 kg/hm² 的范围内,地上部干物质总量随着钾肥用量的增加而增加,当施钾 180 kg/hm² 时,总干物质量达到最高为 10 410 kg/hm²,比不施钾肥处理显著增加 43.0%,而钾肥施用量高

于 180 kg/hm²,则出现下降趋势。同时,油菜籽粒产量受施钾影响显著,4 个施钾处理的籽粒产量比不施肥处理高出 227~774 kg/hm²,增幅为 11.3%~38.4%。当钾肥施用量为 180 kg/hm² 时,籽粒产量达到最高的(2 791 kg/hm²)。施钾的经济纯收益与产量趋势一致,施钾 180 kg/hm² 时达到最高为 1 967 元/hm²,而产投比则随着施钾量的增加而下降。

表 3 钾肥施用对油菜干物质量、产量及经济效益的影响¹⁾

Table 3 Effect of K application on the dry weight, seed yield and profits of rapeseed

K 肥用量/ (kg/hm ²) K application rate	干物质总量/ (kg/hm ²) Total dry matter	茎秆/ (kg/hm ²) Stem	角壳/ (kg/hm ²) Pad	籽粒/ (kg/hm ²) Seed yield	籽粒增产产量/ (kg/hm ²) Increment of yield	籽粒产量 增幅/% Increase rate	施钾纯收益/ (¥/hm ²) K net profit	产投比 Value cost ratio
0	7 281 c	3 570 c	1 694 b	2 017 d				
60	8 234 b	4 129 bc	1 861 b	2 244 c	227	11.3	539	2.73
120	9 570 ab	4 519 b	2 469 a	2 582 b	565	28.0	1 495	3.40
180	10 410 a	5 108 a	2 512 a	2 791 a	774	38.4	1 967	3.10
240	9 410 ab	4 597 b	2 255 a	2 558 b	541	26.8	781	1.63

1)按人民币计,2008—2009 年度油菜籽市场价格为 ¥3.75/kg, K₂O 价格为 ¥5.2/kg。The market price during 2008—2009 was ¥3.75/kg for rapeseed, ¥5.2/kg for K₂O priced by RMB.

2.3 钾肥施用对油菜养分吸收及钾效率的影响

从表 4 可以看出,施用钾肥对油菜各个部位养分吸收和累积的影响是不同的。茎秆和角壳钾含量随钾肥施用量的增加而显著提高,与不施钾处理相比,茎秆和角壳钾含量增幅分别为 13.0%~31.6%

和 0.4%~10.8%,累积量最高为 140.1 和 68.7 kg/hm²,比不施肥处理高出 69.4%和 57.9%;而施钾对籽粒中含钾量变化的影响不显著,但由于施钾后油菜籽产量增加,籽粒中钾素的累积量也呈增加趋势。

表 4 钾肥施用对油菜钾含量、累积量和利用效率的影响¹⁾

Table 4 Effect of K application on the K concentration, accumulation and K use efficiency in rapeseed

K 肥用量/(kg/hm ²) K application rate	钾素含量/% K content			钾素累积量/(kg/hm ²) K accumulation				钾肥农学 利用率/ (kg/kg) KAE	钾肥偏 生产力/ (kg/kg) PFPK	钾肥表观 利用率/% KRE
	茎秆 Stem	角壳 Pad	籽粒 Seed	茎秆 Stem	角壳 Pad	籽粒 Seed	总量 Total			
0	1.93 c	2.14 b	0.88 a	82.7 c	43.5 b	21.3 c	147.5 c	—	—	—
60	2.18 b	2.15 b	0.87 a	108.0 b	48.0 b	23.4 c	179.5 b	3.8	33.6	53.3
120	2.38 ab	2.16 b	0.82 a	129.1 a	64.0 a	25.4 b	218.5 a	4.7	18.7	59.1
180	2.26 b	2.28 ab	0.85 a	138.5 a	68.7 a	28.5 a	235.7 a	4.3	14.3	49.0
240	2.54 a	2.37 a	0.86 a	140.1 a	64.1 a	26.4 b	230.6 a	2.3	11.6	34.6

1)KAE:Potassium agronomic efficiency; PFPK:Partial factor productivity of applied K₂O; KRE:Potassium recovery efficiency.

钾肥农学利用率表示施用每千克纯养分增加油菜籽的能力,反映了施肥对产量增幅的贡献程度,试验结果表明钾肥农学利用率随施钾量的增加呈现先上升后下降的趋势。钾肥表观利用率是用来描述油菜对养分吸收利用特性的主要指标,其变化趋势与钾肥农学利用率一致。钾肥偏生产力反映的是油菜吸收钾肥养分和土壤养分后所产生的边际效应,其随着施钾量的增加从 33.6 kg/kg 递减到 11.6 kg/kg。本试验中施钾 120 kg/hm² 时油菜的钾肥利用效率较好,各指标较高。

2.4 肥效模型及最佳施肥量的确定

采用一元二次肥效模型对钾肥施用量和油菜籽粒产量进行拟合,得出模型方程为: $y = -0.020x^2 + 7.710x + 1962 (r = 0.958^{**})$ 。根据模型方程,可以推算出本试验条件下油菜的钾肥最高施用量和经济施用量分别为 192.8 和 157.4 kg/hm²,理论产量和最佳钾肥用量的产量分别为 2705 和 2680 kg/hm²,纯收益达 1577 和 1668 元/hm²,产投比为 2.57 和 3.04。

3 讨论

本试验结果显示在施用氮磷硼肥的基础上,增施钾肥有利于油菜的生长发育,增加分枝数和提高单株角果总数。该地区油菜施用钾肥增产效果显著与土壤速效钾的含量有关^[14]。邹娟等^[15]研究结果表明湖北省冬油菜土壤速效钾的丰缺临界值为 135.0 mg/kg,而该地区速效钾含量仅为 78.9 mg/kg,远远低于临界值,同时试验结果显示该地区施钾处理的土壤钾素耗竭平均为 66.0 kg/hm²,而不施钾肥处理为 147.5 kg/hm²,土壤钾素严重匮乏。综合实际生产情况和肥效模型拟合得出该地区平衡施肥钾肥推荐用量为 160 kg/hm²。

本试验通过施钾和不施钾对比反映出油菜对土壤中钾素的吸收能力很强、需钾量很高,地上部钾素的累积量可达 150~240 kg/hm²,其中,秸秆和角壳钾素累积量就占到了地上部总量的 80%。油菜收获后,如果将秸秆和角壳丢弃或焚烧,不仅污染了环境,而且易造成大量养分损失。近年来,随着油菜生产机械化的普及,籽粒收获后,秸秆直接还田不失为一种有效的解决方法,已有大量研究表明秸秆还田不仅可以培肥土壤,提高土壤有机碳含量^[16],而且降低土壤容重,增强土壤通透性^[17]。但是秸秆对钾肥的替代作用研究较少,容易受到人们的忽视,戴志

刚等^[18]研究表明油菜秸秆比小麦、水稻秸秆腐解快,其腐解率可达 50%,12 d 后释放的钾素总量占到秸秆钾素总量的 98%。因此,积极开展秸秆还田技术可在一定程度上偿还和补充因油菜吸收和收获带走的钾素、促进农田钾素资源的循环利用。对于油菜秸秆还田量以及其对钾肥的替代量尤其是长期还田效果还需要进一步深入研究。

尽管本试验点位于鄂东武穴市,钾肥推荐用量不足以代表整个鄂东地区油菜适宜钾肥用量,但该地区土地复种指数高、土地休闲时间短、土壤养分耗竭严重,氮磷肥施用偏重,加重了土壤钾素缺乏。同时,油-稻-稻三熟制也是我国长江流域湖南、江西等省份的主要种植模式^[19],油菜生长周期短,需肥量高,土壤缺钾普遍存在。因此,应重视土壤钾素的补充和钾肥的施用,以保证油菜施肥的平衡性,提高单位面积产量和经济、社会效益。

参 考 文 献

- [1] 朱再清. 我国油菜籽及菜籽油的比较优势及国际竞争力分析[J]. 华中农业大学学报:社会科学版, 2009(6): 10-13.
- [2] 袁道仁, 夏松波, 杨新笋, 等. 鄂东地区稻田 3 熟轻型种植模式的效益与技术[J]. 耕作与栽培, 2002(5): 10-11, 46.
- [3] 李银水. 湖北省油菜氮磷钾肥施用效果及肥料推荐用量研究[D]. 武汉: 华中农业大学资源与环境学院, 2009.
- [4] 徐华丽, 鲁剑巍, 李小坤, 等. 湖北省油菜施肥现状调查[J]. 中国油料作物学报, 2010, 32(3): 418-421.
- [5] 邹娟, 鲁剑巍, 吴江生, 等. 4 个双低甘蓝型油菜品种钙、镁、硫吸收动态[J]. 华中农业大学学报, 2009, 28(3): 295-299.
- [6] 鲁剑巍, 陈防, 刘冬碧, 等. 施钾水平对油菜生长发育的影响[J]. 湖北农业科学, 2000(4): 39-42.
- [7] MITCHELL A L, WALTERS D R. Potassium phosphate induces systemic protection in barley to powdery mildew infection [J]. Pest Management Science, 2004, 60(2): 126-134.
- [8] WILLIAMS J, SMITH S G. Correcting potassium deficiency can reduce rice stem diseases[J]. Better Crops, 2001, 85(1): 7-9.
- [9] 邹娟, 鲁剑巍, 李银水, 等. 氮、磷、钾、硼肥对甘蓝型油菜籽品质的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2008, 14(5): 961-968.
- [10] 孙爱文, 张卫峰, 杜芬, 等. 中国钾资源及钾肥发展战略[J]. 现代化工, 2009, 29(9): 10-14, 16.
- [11] 鲍士旦. 土壤化学分析 [M]. 3 版. 北京: 中国农业出版社, 2000.
- [12] 王伟妮, 李小坤, 鲁剑巍, 等. 氮磷钾配合施用对水稻养分吸收、积累与分配的影响[J]. 华中农业大学学报, 2010, 29(6): 710-714.
- [13] 彭少兵, 黄见良, 钟旭华, 等. 提高中国稻田氮肥利用率的研究

- 策略[J]. 中国农业科学, 2002, 35(9): 1095-1103.
- [14] 张福锁, 马文奇, 陈新平. 养分资源综合管理的理论与技术概论[M]. 北京: 中国农业大学出版社, 2006: 82-95.
- [15] 邹娟, 鲁剑巍, 陈防, 等. 长江流域冬油菜钾肥施用效果及土壤速效钾临界值研究[C]//李保国, 张福锁. 中国土壤学会第十一届全国会员代表大会暨第七届海峡两岸土壤肥料学术交流研讨会论文集(上). 北京: 中国农业大学出版社, 2008: 350-358.
- [16] SUREKHA K, PADMA-KUMARI A P, NARAYANA-RED-DY M, et al. Crop residue management to sustain soil fertility and irrigated rice yields [J]. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 2003, 67: 145-154.
- [17] 杨志臣, 吕貽忠, 张凤荣, 等. 秸秆还田和腐熟有机肥对水稻土培肥效果对比分析[J]. 农业工程学报, 2008, 24(3): 214-218.
- [18] 戴志刚, 鲁剑巍, 李小坤, 等. 不同作物还田秸秆的养分释放特征试验[J]. 农业工程学报, 2010, 26(6): 272-276.
- [19] 段红平. 我国三熟耕作区湖南省耕作制度演变规律、趋势与对策研究[D]. 北京: 中国农业大学图书馆, 2000.

Effects and optimum recommendation of potassium fertilizer for rapeseed in Eastern Hubei

LI Ji-fu¹ WANG Yin¹ LI Xiao-kun¹ LU Jian-wei¹ LIU Guang-wen² ZHAI Zhong-bing²

1. College of Resources and Environment, Huazhong Agricultural University, Wuhan 430070, China;
2. Wuxue Soil and Fertilizer Station of Hubei Province, Wuxue 435400, China

Abstract Huashuang No. 4 was selected to study the effects of potassium fertilizer on the whole stage of rapeseed growth including indexes of seedling stage, yield and yield components and finally to test the potassium uptake and use efficiency in the lab in Wuxue City, Hubei Province during 2008—2009. The optimum fertilizer application was calculated by establishing the model of economic region potassium. The results showed that the suitable application rate of potassium was helpful for the over-wintering stage of rapeseed seedling and significantly improved effective branches and pod numbers per plant. The results demonstrated that when the application of potassium was 180 kg/hm², the total dry matter, seed yield and accumulation of potassium reached the largest which were 10 410, 2 791 and 235.7 kg/hm², respectively, and the net profit of K was 1 967 Yuan/hm². Combining the model of fertilizer efficiency with the field trial, the optimum potassium fertilization rate of 160 kg/hm² was recommended under the experimental field condition.

Key words rapeseed (*Brassica napus* L.); potassium fertilizer; seed yield; nutrient absorption and accumulation; fertilizer recommendation; model of fertilizer efficiency

(责任编辑: 张志钰)