

红壤不同地力条件下直播油菜对施肥的响应*

王寅¹ 李小坤¹ 李雅颖^{1†} 李继福¹ 肖国滨² 郑伟² 袁福生³
鲁艳红⁴ 廖育林⁴ 鲁剑巍^{1†}

(1 华中农业大学资源与环境学院, 武汉 430070)

(2 江西省红壤研究所, 江西进贤 331717)

(3 江西省土壤肥料与资源环境研究所, 南昌 330200)

(4 湖南省土壤肥料研究所, 长沙 410125)

摘要 2009 至 2010 年度在江西、湖南两省的典型红壤区设置 8 组直播油菜氮磷钾硼肥田间肥效试验, 旨在研究红壤不同地力条件下直播油菜对施肥的响应, 探寻养分限制因子。结果表明, 红壤直播油菜的长势受到地力的显著影响, 高、中、低地力田块基础地力产量(不施肥处理产量)平均分别为 1230、721 和 191 kg hm⁻²。施肥不同程度促进了直播油菜的生长发育, 养分吸收与累积, 提高了籽粒产量并影响收获指数, 各地力田块均以氮磷钾硼配施(NPKB)处理最好, 其高、中、低地力田块平均产量分别为 2529、1681 和 1065 kg hm⁻², 产量水平随地力上升而大幅提高, 但增产率则呈下降趋势。在其他养分配施基础上增施不同肥料的增产增收效果顺序为 N > P > B > K, 表明红壤直播油菜的养分限制因子依次为氮、磷、硼和钾, 但受土壤养分状况差异的影响, 不同地力条件下施肥的效果也存在差异, 低地力田块施肥的相对增产效果好, 绝对对增产及施肥收益仍以高地力田块较好。红壤区直播油菜的氮、磷、钾肥吸收利用率平均分别为 34.5%、26.7% 和 65.4%, 且各肥料利用率随地力上升而提高。试验结果说明, 红壤区直播油菜的养分管理应重视氮磷钾硼肥的配合施用, 缓解养分限制, 从而有效增产。通过长期合理施肥以培肥土壤、提高地力, 达到持续高产稳产。

关键词 红壤; 地力条件; 直播油菜; 氮磷钾硼肥; 施肥响应

中图分类号 S147.5 **文献标识码** A

油菜是我国重要的油料作物, 菜籽油占国产油料作物产油的 57.2%, 长江流域作为我国最大的油菜产区, 产量占全国的 86.3%^[1-2]。红壤是我国南方分布面积最大的土壤类型, 基本涵盖了长江流域冬油菜主产区^[3], 该区域油菜产业的发展在我国国民经济和油料生产中居重要地位。红壤由于复杂而特殊的发育和形成过程, 一般具有酸、黏、板、瘦的特点, 土壤养分有效性普遍偏低, 而且受成土母质、气候条件及人类耕种等影响, 红壤地区间地力水平也存在显著差异, 大多为中、低地力田块^[4-7], 加之该地区位于热带和亚热带, 普遍实行一年二熟或三熟轮作制, 高复种指数因作物吸收而带走大量土壤养分, 但多数农民管理粗放而随意, 不合理的施肥措施难以有效补充养分并培肥土壤, 反而更加加剧养分的缺乏与不平衡。油菜的生长发育对矿质养分需求较多^[8], 因而红壤区地力差异及养

分贫瘠的状况对油菜生产存在不利影响^[9-10]。当前, 油菜直播方式以其省时省工收益好的优势日益受到广大农民青睐, 在我国南方冬油菜产区的发展和推广十分迅速^[11-12]。直播油菜与传统移栽油菜在密度、生长发育进程等方面存在差异, 养分管理方面也有所不同^[13], 但这方面的研究还较少, 基层农技人员及广大农民在进行施肥管理时无据可依, 无从下手, 尤其是在红壤区养分贫瘠且地力差异明显的情况下该如何施肥、直播油菜对施肥有何响应等问题更是鲜有涉及, 相关理论和技术的滞后阻碍了生产发展, 导致红壤区直播油菜的单产一直处于较低水平。江西、湖南两省作为典型的红壤分布区, 同时又均是我国油菜种植大省^[2], 直播油菜的推广面积也较大。因此, 我们于 2009 至 2010 年度在江西、湖南两省的典型红壤区布置 8 组直播油菜氮磷钾硼肥田间肥效试验, 研究和比较红壤不同地

* “十一五”国家科技支撑计划重点项目(2008BADA4B08、2010BAD01B05)和油菜产业技术体系建设项目(nycytX-005)资助

† 通讯作者, E-mail: lunm@mail.hzau.edu.cn, Tel: 027-61379276

作者简介: 王寅(1986—), 男, 河南南阳人, 博士研究生, 研究方向为现代施肥技术。E-mail: wy1986410@webmail.hzau.edu.cn

收稿日期: 2011-05-30; 收到修改稿日期: 2011-09-15

力条件下直播油菜对施肥的响应,探寻养分限制因子,以期为该地区直播油菜的科学施肥提供依据。

1 材料与方 法

1.1 试验设计

田间试验分别布置在江西省南昌市进贤县江西省红壤研究所 2 个田块(28°35'N,116°17'E)、江西省吉安市泰和县冠朝镇(26°66'N,114°95'E)和湖南省常德市鼎城区蔡家岗镇(29°18'N,111°63'E)各 3 个田块。2008 年至 2009 年对以上地区的 8 个田块进行油菜生产情况调查(每个地区随机走访 100 户左右农民调查),并根据各田块近 5 年平均单产将其分为高($\geq 2\ 000\ \text{kg}\ \text{hm}^{-2}$)、中($1\ 000 \sim 2\ 000\ \text{kg}\ \text{hm}^{-2}$)、低($\leq 1\ 000\ \text{kg}\ \text{hm}^{-2}$)三个水平,其中进贤县 2 个均为高地力田块,泰和县和常德市各有 1 个中地力田块和 2 个低地力田块。2009 年至 2010 年开展田间试验。各田块的土壤基本理化性质见表 1。

田间试验采取统一设计方案,均设 6 个处理:1)CK(不施肥,对照),2)NPKB(氮磷钾硼肥配施),

3)PKB(缺氮),4)NKB(缺磷),5)NPB(缺钾),6)NPK(缺硼)。除缺素处理不施相应养分外,其他处理养分施用量均一致,即:N $180\ \text{kg}\ \text{hm}^{-2}$ 、 P_2O_5 $90\ \text{kg}\ \text{hm}^{-2}$ 、 K_2O $120\ \text{kg}\ \text{hm}^{-2}$ 、硼砂 $15\ \text{kg}\ \text{hm}^{-2}$ [14]。试验均设 3 次重复,随机区组排列,小区面积 $20\ \text{m}^2$ 。

试验进程均按照当地习惯进行:进贤县 2 组试验用赣油杂 2 号,2009 年 10 月 12 日播种,11 月 3 日间苗,2010 年 4 月 27 日收获;泰和县 3 组试验用赣油杂 5 号,2009 年 11 月 8 日播种,11 月 29 日间苗,2010 年 4 月 18 日收获;常德市 3 组试验用湘杂 753,2009 年 10 月 15 日播种,11 月 9 日间苗,2010 年 4 月 25 日收获。所有田块均为撒种直播,4~5 叶期间苗,留苗密度 27.0×10^4 株 hm^{-2} 。供试肥料品种分别为尿素(含 N 46%)、过磷酸钙(含 P_2O_5 12%)、氯化钾(含 K_2O 60%)、硼砂(含 B 11%),其中磷肥和硼砂全部作基肥,氮、钾肥分别施 40% 和 62.5% 作基肥,间苗后追氮肥 30%,越冬期分别追氮、钾肥的 15% 和 20%,剩余氮、钾肥于抽薹前期作第三次追肥。除施肥措施不同外,其他田间管理均与当地农民习惯保持一致。

表 1 试验田土壤基本理化性质

Table 1 Basic physical and chemical properties of the soils in the experiment fields

地力水平 Soil fertility level	地点 Site	pH	有机质 Organic matter ($\text{g}\ \text{kg}^{-1}$)	碱解氮 Available N ($\text{mg}\ \text{kg}^{-1}$)	全氮 Total N ($\text{g}\ \text{kg}^{-1}$)	有效磷 Available P ($\text{mg}\ \text{kg}^{-1}$)	速效钾 Available K ($\text{mg}\ \text{kg}^{-1}$)	有效硼 Available B ($\text{mg}\ \text{kg}^{-1}$)
高 High	进贤 1 Jinxian 1	4.79	25.9	53.3	1.16	40.4	242.5	0.27
	进贤 2 Jinxian 2	4.27	21.4	130.8	1.10	32.8	227.8	0.17
中 Middle	常德 1 Changde 1	5.82	32.7	113.5	1.31	50.3	60.6	0.54
	泰和 1 Taihe 1	4.76	36.6	115.0	1.76	26.2	29.2	0.20
低 Low	泰和 2 Taihe 2	4.66	34.0	141.7	1.80	49.7	176	0.43
	泰和 3 Taihe 3	5.24	15.9	45.1	0.86	16.6	37.6	0.17
	常德 2 Changde 2	5.45	30.3	118.4	1.48	16.3	37.6	0.38
	常德 3 Changde 3	5.02	35.4	124.4	1.54	14.9	50.1	0.28

1.2 试验样品的采集与分析

土壤样品于前茬水稻收获后油菜基肥施用前采集,以整个田块为采样单元均匀布点 15 个,取 0~20cm 耕作层土壤,实验室风干磨细后分别过 20 目和 100 目筛供理化分析用。土壤基本理化性质按常规法测定[15]:土壤 pH 按水土比 2.5:1,pH 计测定;有机质用重铬酸钾容量法;碱解氮用碱解扩散法,标准酸滴定;全氮用半微量开氏法-标准酸滴定;有效磷用 $0.03\ \text{mol}\ \text{L}^{-1}\ \text{NH}_4\text{F}-0.025\ \text{mol}\ \text{L}^{-1}\ \text{HCl}$ 浸提-钼锑抗比色法;速效钾用 $1\ \text{mol}\ \text{L}^{-1}\ \text{NH}_4\text{OAc}$

浸提-火焰光度法;有效硼用热水浸提-姜黄素比色法。

油菜成熟期收获前对各田块所有小区取样,按 $0.5\ \text{m}^2$ 面积取样方内油菜地上全部植株,网袋悬挂风干脱粒后分别统计地上部茎秆、角壳和籽粒的干重,各部分样品于 60°C 烘干后磨细过 40 目筛供养分测定用。植株样品养分测定采用 $\text{H}_2\text{SO}_4-\text{H}_2\text{O}_2$ 联合消煮,流动注射分析仪(瑞典 FIAstar 5000)测定全氮和全磷,火焰光度计测定全钾[15]。

1.3 田间调查及实产统计

油菜收获前分别对 8 组试验直播油菜成熟期的生长发育状况和产量构成因素进行田间调查,每小区选 10 株有代表性植株,调查内容^[16]包括株高、根颈粗、一级分枝数、二级分枝数、单株角果数、主序角果数、每角粒数和千粒重。各指标取平均值作该小区调查结果。调查结束后所有小区进行取样并以小区为单位收获测实产,成熟期地上部生物量根据取样考种结果按茎秆、角壳与籽粒的干重之比与籽粒实产相乘推算得出。

1.4 参数计算方法和数据统计分析

有关参数计算方法:收获指数 = 籽粒产量 × 100/地上部总生物量;增产量 = 施肥区产量 - 缺素区产量(相比 NPKB 处理,PKB 处理即为缺素区);增产率 = 增产量 × 100/缺素区产量;施肥效益 = 增产量 × 籽粒价格 - 肥料成本;肥料吸收利用率 = (施肥区养分吸收量 - 缺素区养分吸收量) × 100/养分施用量。

试验数据均采用 Excel 软件进行计算处理,利用 DPS 软件进行统计分析。

2 结果与分析

2.1 施肥对红壤直播油菜产量及收获指数的影响

不同试验田块直播油菜的产量水平差异显著(表 2),不施肥处理油菜产量随地力下降而大幅降低,高、中、低田块产量平均分别为 1 230、721 和 191 kg hm⁻²,高、低地力田块间相差约 6 倍。施肥明显影响各地力条件下直播油菜的产量,除泰和 1 缺磷处理和常德 3 缺氮处理未增产外,其余施肥处理相比对照均有明显增产,其中各田块均以 NPKB 处理效果最好,其高、中、低地力田块平均产量分别为 2 529、1 681 和 1 065 kg hm⁻²,产量水平随地力上升而大幅提高,但比对照的增产率则随地力上升而显著降低。所有田块各缺素处理的油菜产量与 NPKB 处理相比均明显较低,缺氮、缺磷、缺钾和缺硼处理的减产率平均分别为 52.2%、39.4%、23.4% 和 27.3%,说明红壤区直播油菜的养分限制因子顺序为 N > P > B > K。

表 2 施肥对直播油菜产量(kg hm⁻²)和收获指数(%)的影响

Table 2 Effect of fertilization on seed yield and harvest index of direct-seeding rapeseed

处理	进贤 1	进贤 2	常德 1	泰和 1	泰和 2	泰和 3	常德 2	常德 3	平均值
Treatment	Jinxian 1	Jinxian 2	Changde 1	Taihe 1	Taihe 2	Taihe 3	Changde 2	Changde 3	Average
CK	1 310 c/24.6 bc	1 150 d /25.3 a	752 d/26.2 ab	690 e/23.6 b	433 e/23.2 ab	187 e/23.4 b	94 d/27.6 a	50 d/25.7 a	583/25.0
NPKB	2 650 a/28.7 a	2 408 a/26.0 a	1 640 a/27.2 ab	1 722 a/21.9 a	1 467 a/25.4 a	822 a/19.8 a	1 092 a/28.9 a	880 a/28.1 a	1 585/25.7
PKB	1 720 b/27.6 ab	1 500 c/26.4 a	913 c/27.5 ab	963 c/21.1 c	575 d/22.4 b	263 d/22.0 b	102 d/28.1 a	28 d/26.2 a	758/25.2
NKB	1 798 b/24.2 bc	1 730 bc/24.4a	1 495 b/27.0 ab	645 e /23.3 a	778 c/23.7 ab	643 b /18.5 a	461 c/27.3 a	130 c/27.1 a	960/24.4
NPB	1 895 b/26.8 abc	1 925 b /25.5 a	1 585 ab /28.1 a	1 172 b/21.8 b	1 077 b/24.2 ab	687 b /20.5 a	731 b/28.8 a	643 b/28.5 a	1 214/25.5
NPK	1 870 b /23.9 c	1 895 b /24.5 a	1 586 ab/25.4 b	823 d/20.7 d	650 d/22.9 b	430 c/15.2 b	1 068 a/26.1 a	892 a/26.4 a	1 152/23.1

注:不同字母表示处理间差异达 5% 显著水平;分隔号“/”前面为产量,后面为收获指数。Note: Different letters mean significant difference between treatments at 5% level. The data before the slash “/” is yield, and after that is harvest index

不同地力田块之间直播油菜的收获指数也存在明显差异,高地力田块各处理普遍高于中、低地力田块。而施肥对收获指数也有影响,与对照比较各施肥处理中 NPKB 处理、缺氮和缺钾处理的平均收获指数略高,缺磷处理略低,缺硼处理则最低。

2.2 施肥对红壤直播油菜成熟期长势及产量构成因素的影响

表 3 表明,不同地力田块直播油菜的长势和产量

构成因素均存在明显差异(中、低地力田块分别以常德 1 和泰和 3 为例),地力水平越高直播油菜的各项生育指标表现越好,尤其是二级分枝,只在地力田块出现。由于有效分枝数的减少,直播油菜主序角果数占单株总角果数的比例随地力下降而上升,高、中、低地力条件下分别为 33.4%、53.9% 和 62.7%,说明地力水平越低主序角果的数量对产量的贡献越大。

表 3 施肥对直播油菜成熟期长势及产量构成因素的影响

Table 3 Effect of fertilization on growth at mature stage and yield components of direct-seeding rapeseed

地力水平 Soil fertility level	处理 Treatment	株高 Plant height (cm)	根颈粗 Root stem diameter (cm)	一级分枝数 No. of 1st branch	二级分枝数 No. of 2nd branch	单株角果数 No. of pods per plant	主序角果数 No. of main inflorescence	每角粒数 No. of seed per pod	千粒重 1000-grain weight(g)
高 High (进贤 1 Jinxian 1)	CK	145.4 bc	1.66 c	4.4 c	0.4 d	101.2 d	33.8 c	16.0 b	3.51 ab
	NPKB	157.5 a	1.89 a	8.2 a	2.6 a	175.4 a	53.8 a	18.5 a	3.56 a
	PKB	138.5 c	1.72 bc	5.8 b	0.8 d	123.8 c	38.8 bc	17.1 ab	3.46 ab
	NKB	152.5 ab	1.77 bc	6.0 b	1.4 c	131.4 c	44.6 ab	17.9 a	3.52 ab
	NPB	156.6 a	1.83 ab	6.0 b	1.6 bc	149.8 b	46.2 ab	17.8 ab	3.43 b
	NPK	147.2 abc	1.83 ab	6.4 b	2.0 b	154.2 b	50.2 a	18.0 a	3.53 ab
中 Middle (常德 1 Changde 1)	CK	107.5 c	0.97 d	3.7 c	0.0 c	78.5 c	42.3 b	13.8 d	3.49 ab
	NPKB	145.7 a	1.57 a	6.3 a	2.2 a	139.3 a	46.7 ab	17.0 a	3.54 a
	PKB	124.7 bc	1.22 c	2.8 c	0.5 c	88.2 c	43.5 ab	14.7 cd	3.41 b
	NKB	138.3 ab	1.37 bc	5.0 b	1.5 b	122.7 b	41.7 b	15.3 bc	3.39 b
	NPB	142.7 ab	1.52 ab	5.3 b	1.3 b	121.3 b	44.2 ab	16.2 ab	3.52 a
	NPK	144.0 ab	1.43 ab	5.5 ab	1.7 ab	131.2 ab	50.3 a	16.5 a	3.50 ab
低 Low (泰和 3 Taihe 3)	CK	52.7 d	0.42 d	1.7 c	0.0 b	41.5 c	26.0 b	10.3 b	3.15 c
	NPKB	93.2 a	0.88 ab	5.0 a	0.3 a	90.2 a	34.7 a	12.9 a	3.62 a
	PKB	74.0 c	0.53 cd	2.5 bc	0.0 b	46.3 c	23.7 b	10.8 b	3.29 bc
	NKB	80.8 bc	0.77 b	3.0 b	0.0 b	75.2 b	26.5 b	10.9 b	3.39 b
	NPB	78.5 bc	0.58 c	3.5 b	0.0 b	80.3 ab	25.2 b	11.3 ab	3.65 a
	NPK	85.0 ab	1.00 a	3.0 b	0.0 b	73.7 b	28.0 b	10.6 b	3.26 bc

注:不同字母表示处理间差异达 5% 显著水平。Note: Different letters mean significant difference between treatments at 5% level

氮、磷、钾和硼肥的施用有效促进了各地力条件下直播油菜的生长发育,改善了产量构成因素,且地力水平越低效果越明显。不同地力条件下均以 NPKB 处理的长势表现最好,植株的纵、横向发育明显增强,分枝形态得到优化,各产量构成因素均明显提高。任一养分的缺乏对红壤直播油菜的生长均有所阻碍,其中以缺氮和缺磷处理的生长状况最差,缺硼在低地力田块的限制生长的作用则更为明显,缺钾处理的相对较好。

2.3 施肥对直播油菜地上部氮、磷、钾养分累积的影响

不同地力田块直播油菜地上部的氮、磷、钾养分累积量差异显著(图 1),其表现趋势与产量情况一致,整体上随地力上升而增加,但受土壤养分的影响同一施肥处理在不同田块的表现也略有不同。各施肥处理的养分累积量相比对照均有显著提高,且均以 NPKB 处理为最高,8 组试验其氮(N)、磷

(P)、钾(K)的平均累积量分别达 103.4、22.6 和 175.5 kg hm⁻²,而各缺素处理养分累积量均显著低于 NPKB 处理,其高低顺序为:NPB > NPK > NKB > PKB。

2.4 红壤不同地力条件下直播油菜氮、磷、钾、硼肥的施用效果及肥料吸收利用率

表 4 显示,红壤直播油菜增施氮、磷、钾和硼肥的增产增收效果顺序为:N > P > B > K,受不同田块土壤养分状况差异的影响各肥料效果也有所不同,而且同一肥料在不同田块的表现也存在差异。总体而言,地力较低时施肥的相对增产效果较好,但绝对增产量和增收效果还是地力较高时较好。红壤区直播油菜的氮、磷、钾肥吸收利用率平均分别为 34.5%、26.7% 和 65.4%,与当前整个长江流域油菜的平均肥料利用率相比,氮肥接近,而磷、钾肥较高^[17],而不同地力田块直播油菜的氮、磷、钾肥吸收利用率也不同,整体上随地力水平下降而降低。

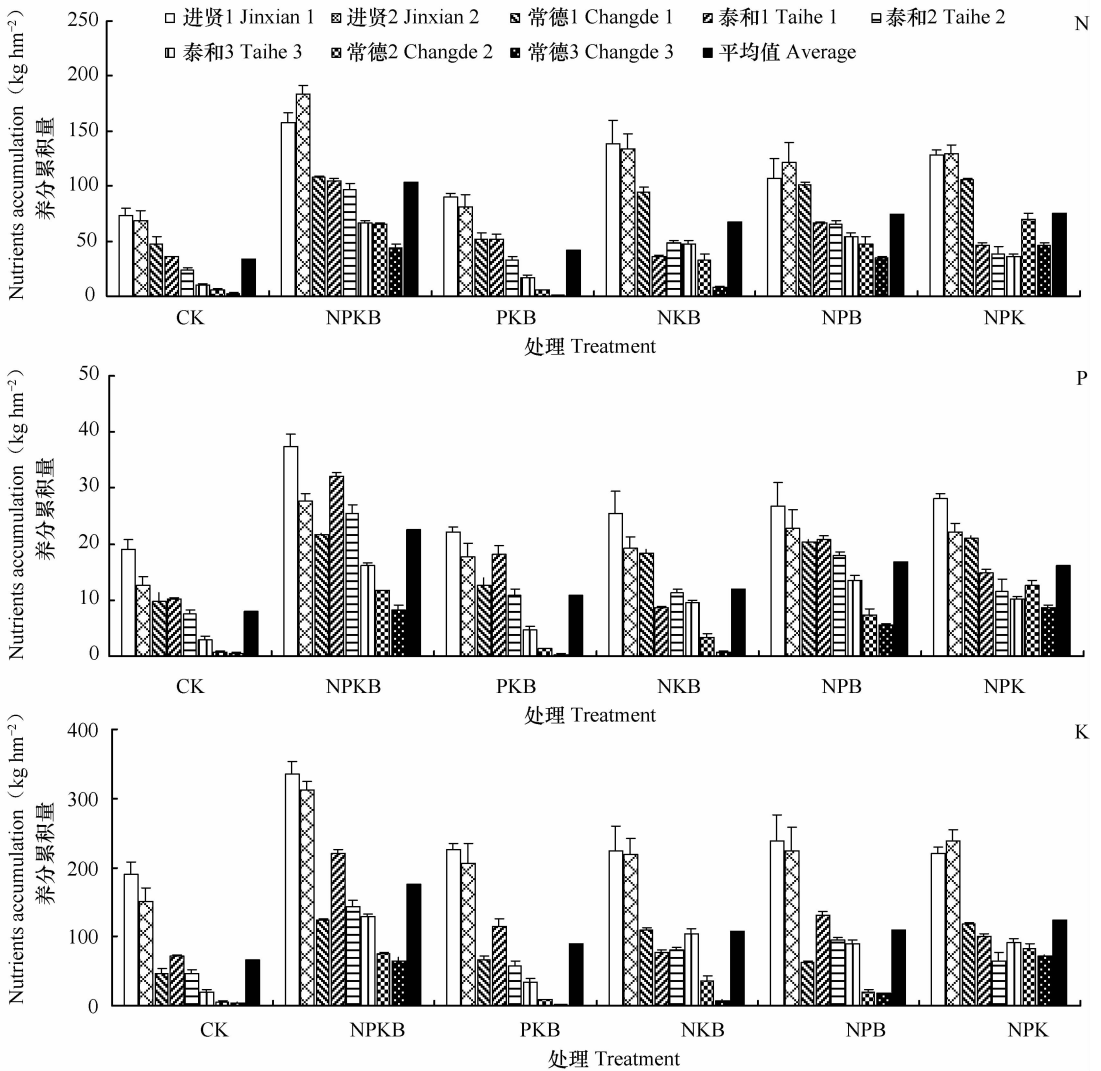


图1 施肥对直播油菜地上部氮(N)、磷(P)、钾(K)养分积累量的影响

Fig. 1 Effect of fertilization on N, P, K accumulations in aboveground part of the direct-seeding rapeseed

3 讨论

3.1 地力水平与作物产量

“地力”是农田生产能力的综合体现,受立地条件、气候条件、农业基础设施、土壤理化性状及培肥水平等多方面要素的综合影响^[18]。目前我国在确定农田地力等级时通常采用“产量法”,即以单位面积耕地的作物产量水平作为地力划分依据^[19],本研究即根据近5年油菜的平均单产将各田块划分为高、中、低三个地力水平。其中,高地力田块位于江西省红壤研究所,田地平整且排灌设施优良,经多年合理耕作与培肥其土壤养分较丰富,供肥能力强;而中、低地力田块均为农民承包责任田,农田设

施相对较差,红壤本身养分有效性低下的状况再加上农民普遍粗放的田间管理,导致综合地力较低。结果显示,高、中、低地力田块的基础地力产量(不施肥处理产量)平均分别为1 230、721和191 kg hm⁻²,与地力划分情况一致。

作物产量水平除与地力水平有很大关系外,还受到品种的影响。本试验均采用适宜红壤地区的甘蓝型杂交油菜品种,其区试结果^[20-22]显示:赣油杂2号在2002至2003年江西省区试中产量为1 995 kg hm⁻²,赣油杂5号在2007至2009年江西省区试中产量平均为2 040 kg hm⁻²,湘杂753在2003至2004年湖南省区试中产量为2 010 kg hm⁻²,产量水平接近,可见品种在本试验中对产量影响较小,表明油菜产量水平主要受地力影响。

表 4 不同地力条件下直播油菜施肥效果及肥料利用率

Table 4 Effects and recovery rates of fertilizers on direct-seeding rapeseeds in fields different in field fertility

肥料 Fertilizer	地点 Site	增产量 Increment(kg hm ⁻²)	增产率 Increase rate(%)	施肥后增收 Net profit with fertilizer(Yuan hm ⁻²)	肥料吸收利用率 Fertilizer recovery efficiencies(%)
N	进贤 1 Jinxian 1	930	54.1	2 481	37.8
	进贤 2 Jinxian 2	908	60.6	2 405	57.1
	常德 1 Changde 1	727	79.7	1 771	31.0
	泰和 1 Taihe 1	758	78.7	1 880	29.3
	泰和 2 Taihe 2	892	155.1	2 347	35.6
	泰和 3 Taihe 3	558	212.0	1 180	27.8
	常德 2 Changde 2	990	970.3	2 690	33.7
	常德 3 Changde 3	852	3 091.7	2 209	23.7
	平均值 Average	827	587.8	2 120	34.5
P	进贤 1 Jinxian 1	852	47.4	2 513	30.4
	进贤 2 Jinxian 2	678	39.2	1 906	21.5
	常德 1 Changde 1	145	9.7	39	8.7
	泰和 1 Taihe 1	1 077	166.9	3 300	59.5
	泰和 2 Taihe 2	688	88.4	1 941	35.9
	泰和 3 Taihe 3	178	27.7	156	17.2
	常德 2 Changde 2	630	136.6	1 738	21.2
	常德 3 Changde 3	750	576.1	2 156	19.4
	平均值 Average	625	136.5	1 719	26.7
K	进贤 1 Jinxian 1	755	39.8	2 043	96.9
	进贤 2 Jinxian 2	483	25.1	1 092	86.8
	常德 1 Changde 1	54	3.4	-409	61.1
	泰和 1 Taihe 1	550	46.9	1 325	89.1
	泰和 2 Taihe 2	390	36.2	765	48.8
	泰和 3 Taihe 3	135	19.7	-128	39.0
	常德 2 Changde 2	360	49.2	661	55.1
	常德 3 Changde 3	237	36.9	230	46.4
	平均值 Average	371	32.2	697	65.4
B	进贤 1 Jinxian 1	780	41.7	2 430	—
	进贤 2 Jinxian 2	513	27.1	1 497	—
	常德 1 Changde 1	54	3.4	-112	—
	泰和 1 Taihe 1	898	109.1	2 844	—
	泰和 2 Taihe 2	817	125.6	2 558	—
	泰和 3 Taihe 3	392	91.1	1 071	—
	常德 2 Changde 2	24	2.3	-215	—
	常德 3 Changde 3	-12	-1.4	-344	—
	平均值 Average	433	49.9	1 216	—

注:2009年至2010年度油菜籽市场价格为3.5元 kg⁻¹, N为4.3元 kg⁻¹, P₂O₅为5.2元 kg⁻¹, K₂O为5.0元 kg⁻¹, 硼砂为20元 kg⁻¹

Note: The market price during 2009–2010 was 3.5 Yuan kg⁻¹ for rapeseed, 4.3 Yuan kg⁻¹ for N, 5.2 Yuan kg⁻¹ for P₂O₅, 5.0 Yuan kg⁻¹ for K₂O, 20 Yuan kg⁻¹ for Borax.

土壤养分含量是评价土壤地力最直观的因素,本研究显示地力较高的田块各项养分指标综合来看确实相对较高,尤其是土壤速效磷、钾的含量,但也不尽如此,例如个别低地力田块的有机质、碱解氮等高于高地力田块。因此,土壤养分状况可在一定程度上反映地力水平,但并不能完全以此为评判标准,还要综合考虑其他影响因素^[23]。

3.2 红壤区直播油菜施肥效果显著,通过合理施肥提高地力是全面提升产量水平的重要手段

红壤直播油菜的生长结实、养分吸收累积及肥料利用率均受到地力的显著影响,要促进红壤油菜的生长发育、提高产量水平就必须首先改善红壤的地力状况。地力水平的各影响因素中,土壤质地和气候条件作为田块的固有属性,很难被人为所改变,农田设施修整的条件要求较高且投入较大,对于单个农户来说也不现实,而通过施肥的手段来调节和改善土壤养分状况则相对简单和实用,农民操作也方便,是一条可行之路。

研究结果显示,施肥对改善红壤不同地力田块直播油菜的生长、提高产量均有明显作用,而各施肥处理中以氮磷钾硼肥配施处理的效果最好,各项生育指标均较高。高地力田块本身土壤养分丰富,各养分配施进一步促进了直播油菜的生长发育,使其产量潜力完全发挥,产量高且收益好;而中、低地力田块氮磷钾硼肥配施后,有效补充了土壤中缺乏或有效性较低的养分,同时也改善了养分间不平衡的状况,进而促进油菜的生长和植株健壮,对不利环境因素的抵抗能力也有所增强,最终增产效果更为明显。张春雷等研究发现单产水平低是限制农户经济效益和影响种植积极性的主要因素之一^[12],尽管红壤区中、低地力田块增产效果很好,但其依旧很难高产,经济效益较差。由此可见,地力低下所导致的低产量、低效益是红壤区油菜发展一直停滞不前、冬闲田大量出现的重要原因,同时更说明提高地力水平是当前全面提升红壤区油菜产量水平的必要手段,大量研究表明^[24-27]长期的合理施肥有利于培肥红壤、改善土质和提高地力。

综上,合理施肥是改善红壤养分普遍贫瘠、提高产量最现实有效的手段,因此当前应积极推广氮磷钾硼肥的配合施用,相关研究也要继续开展和深入,探寻适宜红壤直播油菜的养分综合管理措施,建立地力水平评价和推荐施肥体系,促进整个红壤区农业可持续健康发展。

3.3 红壤直播油菜的发展潜力巨大

当前红壤区油菜单产显著低于全国平均水平,2009年江西、湖南两省油菜单产分别为1 132和1 509 kg hm⁻²^[28],但这同时表明该区油菜单产还有很大的提高空间和增长潜力,本试验结果也证明通过施肥可有效提高红壤直播油菜产量。此外,我国长江流域目前尚有300万hm²冬闲田可发展油菜种植^[2],且主要分布于红壤区,若能引导当地广大农民在不过多增加劳力和支出的情况下合理有效利用大面积冬闲田发展直播油菜,充分利用该地区丰富的水、热、光资源,那么我国油菜总产将有很大提高,在此过程中科学的养管理措施必将发挥重要作用。

4 结 论

红壤区直播油菜的生长和结实受地力影响很大,不同地力田块菜籽产量水平差异显著。施肥对各田块直播油菜的生长发育、养分吸收及籽粒产量均有显著改善和提高,尤其以NPKB处理的效果最好,而且其产量水平随地力上升而提高,但增产率呈下降趋势。红壤区直播油菜的养分限制因子顺序为N>P>B>K,但受土壤养分状况差异的影响不同田块肥料的施用效果也存在差异。总体看来,地力水平越低施肥的相对增产效果越好,但高地力田块的绝对增产量、施肥效益及肥料利用率则均明显较高。因此,红壤区直播油菜的养管理应重视氮磷钾硼肥的配合施用,以缓解不同养分限制从而有效增产。通过长期的合理施肥以培肥土壤、提高地力,达到持续高产、稳产。

参 考 文 献

- [1] 王汉中. 我国油菜产业发展的历史回顾与展望. 中国油料作物学报, 2010, 32(2): 300—302. Wang H Z. Review and future development of rapeseed industry in China (In Chinese). Chin J Oil Crop Sci, 2010, 32(2): 300—302
- [2] 殷艳, 廖星, 余波, 等. 我国油菜生产区域布局演变和成因分析. 中国油料作物学报, 2010, 32(1): 147—151. Yin Y, Liao X, Yu B, et al. Regional distribution evolution and development tendency of Chinese rapeseed production (In Chinese). Chin J Oil Crop Sci, 2010, 32(1): 147—151
- [3] 李庆逵. 中国红壤. 北京: 科学出版社, 1983: 1—23. Li Q K. China red soil (In Chinese). Beijing: Science Press, 1983: 1—23
- [4] 陈印军. 我国红黄壤地区土地资源特点及开发利用. 中国农业资源与区划, 1995(6): 51—55. Chen Y J. The land resource

- characteristics and exploitation in Red and Yellow Soil region of China(In Chinese). Chinese Journal of Agricultural Resources and Regional Planning, 1995(6): 51—55
- [5] 孙波,张桃林,赵其国. 南方红壤丘陵区土壤养分贫瘠化的综合评价. 土壤,1995(3):119—128. Sun B, Zhang T L, Zhao Q G. Evaluation of soil nutrient depletion for red soil hilly regions of southern China(In Chinese). Soils, 1995(3): 119—128
- [6] Zhang M K, Xu J M. Restoration of surface soil fertility of an eroded red soil in southern China. Soil Tillage Research, 2005, 80: 13—21
- [7] 曾希柏,李菊梅,徐明岗,等. 红壤旱地的肥力现状及施肥和利用方式的影响. 土壤通报,2006,37(3):434—437. Zeng X B, Li J M, Xu M G, et al. Fertility of red up land soil and effects of fertilization and utilization on its fertility(In Chinese). Chin J Soil Sci, 2006, 37(3): 434—437
- [8] 郭庆元,李云昌. 中国种植业优质高产技术丛书——油菜. 武汉:湖北科学技术出版社,2003:1—109. Guo Q Y, Li Y C. China high quality and yield planting technology series-rape-seed(In Chinese). Wuhan: Hubei Science and Technology Press, 2003: 1—109
- [9] 郭庆元,李志玉,涂学文. 我国南方红黄壤地区优质油菜营养特性与施肥研究 II. 红壤区稻田双低油菜中双 7 号高产施肥. 中国油料作物学报,2001,23(1):51—55. Guo Q Y, Li Z Y, Tu X W. Plant nutritional aspects and effects of fertilizer application in rapeseed in red-yellow soil of south China II. Fertilizer application of double-low rapeseed cultivar Zhongshuang No. 7 in red paddy soil(In Chinese). Chin J Oil Crop Sci, 2001, 23(1): 51—55
- [10] 胡红青,廖丽霞,叶祥盛,等. 红壤磷素水平与油菜生长及根际土壤磷素组成变化. 华中农业大学学报,2001,20(4):354—357. Hu H Q, Liao L X, Ye X S, et al. Effects of residual phosphorus on the growth of rapeseed and Inorganic phosphate fractionation of rhizosphere soil in two red soils(In Chinese). J Huazhong Agric Univ, 2001, 20(4): 354—357
- [11] 官春云. 改变冬油菜栽培方式,提高和发展油菜生产. 中国油料作物学报,2006,28(1):83—85. Guan C Y. The cultivation pattern change of winter rapeseed to increase and develop production(In Chinese). Chin J Oil Crop Sci, 2006, 28(1): 83—85
- [12] 张春雷,李俊,余利平,等. 油菜不同栽培方式的投入产出比较研究. 中国油料作物学报,2010,32(1):57—64. Zhang C L, Li J, Yu L P, et al. Input/output analysis on rapeseed production practices under different cultivation mode(In Chinese). Chin J Oil Crop Sci, 2010, 32(1): 57—64
- [13] 邹娟,鲁剑巍,李银水,等. 直播油菜施肥效应及适宜肥料用量研究. 中国油料作物学报,2008,30(1):90—94. Zou J, Lu J W, Li Y S, et al. Study on the effects of NPK fertilizers and optimum fertilizer rate on direct-seeding rapeseed(In Chinese). Chin J Oil Crop Sci, 2008, 30(1): 90—94
- [14] 邹娟,鲁剑巍,陈防,等. 氮磷钾硼肥施用对长江流域油菜产量及经济效益的影响. 作物学报,2009,35(1):87—92. Zou J, Lu J W, Chen F, et al. Effect of nitrogen, phosphorus, potassium, and boron fertilizers on yield and profit of rapeseed (Brassica napus L.) in the Yangtze River Basin(In Chinese). Acta Agron Sin, 2009, 35(1): 87—92
- [15] 鲍士旦. 土壤农化分析. 第 3 版. 北京:中国农业出版社,2000:30—107,125—127. Bao S D. Soil and agricultural chemistry analysis(In Chinese). 3rd ed. Beijing: China Agriculture Press, 2000: 30—107, 125—127
- [16] 邹娟,鲁剑巍,廖志文,等. 湖北省油菜施硼效果及土壤有效硼临界值研究. 中国农业科学,2008,41(3):752—759. Zou J, Lu J W, Liao Z W, et al. Study on response of rapeseed to boron application and critical level of soil available B in Hubei Province(In Chinese). Sci Agric Sin, 2008, 41(3): 752—759
- [17] 邹娟,鲁剑巍,陈防,等. 长江流域油菜氮磷钾肥料利用率现状研究. 作物学报,2011,37(4):729—734. Zou J, Lu J W, Chen F, et al. Status of nutrient use efficiencies of rapeseed in the Yangtze River Basin(In Chinese). Acta Agron Sin, 2011, 37(4): 729—734
- [18] 鲁明星,贺立源,吴礼树. 我国耕地地力评价研究进展. 生态环境,2006,15(4):866—871. Lu M X, He L Y, Wu L S. Fertility evaluation of cultivated land in China: A review(In Chinese). Ecol & Environ, 2006, 15(4): 866—871
- [19] 彭世琪. 我国耕地地力等级及中低产田类型划分的一种理论和方法. 中国农技推广,1997(1):33—34. Peng S Q. A theory and method for parting China farmland productivity level and middle-low yield farmland type(In Chinese). China Agricultural Technology Extension, 1997(1): 33—34
- [20] 宋来强,邹晓芬,张建模,等. 菜、油两用高产优质甘蓝型杂交油菜新组合赣油杂 2 号的选育. 作物研究,2007,21(3):374—375. Song L Q, Zou X F, Zhang J M, et al. Breeding of high yield and good quality new hybrid rape cultivar Gan You Za No. 2 both for food and oil(In Chinese). Crop Research, 2007, 21(3): 374—375
- [21] 中国种业商务网. 赣油杂 5 号. 2010.01.10. <http://www.chinaseed114.com/newsinfo.php?id=26151>. China seed industry business. Gan You Za No. 5. 2010.01.10. <http://www.chinaseed114.com/newsinfo.php?id=26151>
- [22] 潘旺林. 湘油杂 753. 湖南农业,2005(7):8. Pan W L. Xiang You Za 753(In Chinese). Hunan Agriculture, 2005(7): 8
- [23] 王瑞燕,赵庚星,陈丽丽. 基于 ANN—产量的耕地地力定量评价模型及其应用. 农业工程学报,2008,24(1):113—118. Wang R Y, Zhao G X, Chen L L. Evaluation model of cultivated land fertility using artificial neural network and productivity and its application(In Chinese). Trans Chin Soc Agric Eng, 2008, 24(1): 113—118
- [24] Zhang H M, Wang B R, Xu M G, et al. Crop yield and soil responses to long-term fertilization on a red soil in southern China. Pedosphere, 2009, 19(2): 199—207
- [25] 吴晓晨,李忠佩,张桃林. 长期不同施肥措施下红壤稻田的养分循环与平衡. 土壤,2009,41(3):377—383. Wu X C, Li Z P, Zhang T L. Nutrient cycling and balance of paddy fields with different long-term fertilization management in red soil region(In Chinese). Soils, 2009, 41(3): 377—383
- [26] 姜灿烂,何园球,刘晓利,等. 长期施用有机肥对旱地红壤团聚体结构与稳定性的影响. 土壤学报,2010,47(4):715—

722. Jiang C L, He Y Q, Liu X L, et al. Effect of long-term application of organic manure on structure and stability of aggregate in upland red soil (In Chinese). *Acta Pedol Sin*, 2010, 47(4): 715—722
- [27] 王小兵, 骆永明, 李振高, 等. 长期定位施肥对亚热带丘陵区红壤旱地质量的影响 I. 酸度. *土壤学报*, 2011, 48(1): 98—102. Wang X B, Luo Y M, Li Z G, et al. Effect of long term stationary fertilization on upland red soil quality in subtropical hilly regions I. Acidity (In Chinese). *Acta Pedol Sin*, 2011, 48(1): 98—102
- [28] 中华人民共和国国家统计局. 中国统计年鉴. 北京: 中国统计出版社, 2010. National Bureau of Statistics of China. *Chinese statistical yearbook* (In Chinese). Beijing: China Statistics Press, 2010

RESPONSES OF DIRECT-SEEDING RAPESEED TO FERTILIZATION IN FIELDS OF RED SOIL DIFFERENT IN FERTILITY

Wang Yin¹ Li Xiaokun¹ Li Yaying^{1†} Li Jifu¹ Xiao Guobin² Zheng Wei² Yuan Fusheng³ Lu Yanhong⁴
Liao Yulin⁴ Lu Jianwei^{1†}

(1 College of Resources and Environment, Huazhong Agricultural University, Wuhan 430070, China)

(2 The Research Institute of Red Soil, Jinxian, Jiangxi 331717, China)

(3 Soil and Fertilizer & Resource and Environment Research Institute, Jiangxi Academy of Agricultural Sciences, Nanchang 330200, China)

(4 Hunan Institute of Soil and Fertilizer, Changsha 410125, China)

Abstract In order to study responses of direct-seeding rapeseed to fertilization in fields of red soil different in fertility, and to find out limiting factors of direct-seeding rapeseed in nutrition, eight field experiments on crop response to NPKB fertilizers were conducted in typical red soil regions of Jiangxi and Hunan provinces in 2009—2010. Results show that growth of the direct-seeding rapeseed was significantly affected by soil fertility. The yield of the field with basic soil fertility being high, middle and low was 1 230, 721 and 191 kg hm⁻², respectively. Fertilization promoted growth and nutrient uptake of the crop, increased its seed yield and influenced its harvest index to a varying degree. In all the experiment fields, Treatments NPKB were the highest in yield at each soil fertility level, The average yield of the treatments was 2 529 kg hm⁻² in fields high in soil fertility, 1 681 kg hm⁻² in fields moderate in soil fertility and 1 065 kg hm⁻² in fields low in soil fertility. Obviously yield of the crop increased with the soil fertility level by a large margin, but the margin tended to be narrower with the yield going up. The yield-increasing effect of additional fertilizer besides the combined recommendation followed the order of N > P > B > K, which also indicated the order of importance of the four elements as limiting factor in nutrition of the crops. However, as affected by different in soil nutrient status, crop response to fertilization in fields different in soil fertility also varied. Relative yield response to fertilization was higher in fields low in soil fertility, while absolute yield and benefit responses were still better in fields high in soil fertility. N, P and K recovery rate of the direct-seeding rapeseed in the red soils was 34.5%, 26.7% and 65.4%, respectively, which increased with the soil fertility level. These findings demonstrate that in nutrient management of direct-seeding rapeseed, it is essential to pay high attention to combined application of N, P, K and B and elimination of nutrient limiting factors, to achieve effective yield increase. Long-term rational fertilization can build up the soil, improve soil fertility and hence sustain high and stable yield of the crops.

Key words Red soil; Field fertility level; Direct-seeding rapeseed; NPKB fertilizer; Response to fertilization