



速效缓释型有机无机复混肥对油菜产量及肥料利用率的影响

余垚颖¹,张 蕾¹,刘金丹²,莫太相³,
郭应菊¹,陈代容¹,王明富¹

(1. 四川省农业科学院 植物保护研究所,成都 610066;2. 四川省农业技术推广总站,
成都 610041;3. 四川省中江县农业局,四川德阳 618000)

摘要 为了解决肥料速效与缓释性问题,实现油菜“一次性施肥”的最终目标。对研制出的速效缓释型有机无机复混肥油菜专用配方和施用方法进行田间筛选及验证研究。配方及施用方法试验:油菜成熟后,检测茎秆、角壳、籽粒的全氮、全磷、全钾及干物质量,研究不同配方和施用方法对产量、肥料贡献率、农学利用率等的影响,明确速效缓释型有机无机复混肥油菜专用肥的最佳配方及施用方法;验证试验:在四川选择6个试验点,开展常规肥与速效缓释型有机无机复混肥的同田对比试验。综合分析配方筛选试验表明:SH3(18-5-7)各指标显著优于常规肥,产量、肥料贡献率、农学利用率的均值分别为3 473 kg/hm²、39.61%、5.56 kg/kg;施用方法试验表明:采用“基肥+追施”的方法更有利于养分向籽粒运输,从而增加油菜籽产量与产值,“基肥一次性施用”次之,两者之间差异不显著,较常规施肥最高增产25.49%,增收2 498元/hm²,产投比则是“基肥一次性施用”最高;验证试验表明:6个试验点,速效缓释型有机无机复混肥SH3(18-5-7)较常规肥农学利用率提高1.62 kg/kg,肥料贡献率提高8.57%,增产470 kg/hm²,肥料效益提高1 632元/hm²。适宜油菜种植的速效缓释型有机无机复混肥配方为SH3(18-5-7),采用“基肥一次性施用”和“基肥+追施”两种方式均显著提高油菜产量、经济效益及产投比,可结合当地劳动力实际情况选择。

关键词 速效与缓释;肥料贡献率;产量;施肥效益;产投比

肥料作为农作物优质量高的有效保障,存在利用率低、施用不合理、技术落地难等问题^[1-2]。因此实现肥料养分释放与作物需肥协调,提高肥料利用率,实现“一次性施肥”是符合现代农业生产的需求。肥料按作用方式分速效肥与缓效肥,李银水等^[3]发现氮用量在150 kg/hm²时,能较好地协调油菜高产与氮肥的合理利用;张辉等^[4]认为缺失氮、磷、钾任何养分均使油菜产量降低;崔文慧等^[5]将缓释肥与速效肥按不同比例混合施用后发现,缓释肥养分释放速度具有先低后高再低的趋势,其释放高峰期可以满足油菜生长需求。Grant等^[6]和Xie等^[7]研究发现,施用包膜控释氮肥相对于普通尿素对作物有显著的增产效果。为了解决肥料速效与缓释性融合的技术难题,研制出符合作物需肥规律的速效缓释型有机无机复混肥,实现粮油作物“一次性施肥”的轻简化施肥

目标。团队成员明确了有机物料种类、组合、细度和含量等与肥料养分释放的相关性,创新了肥料生产工艺流程^[8-11],研制出速效缓释型有机无机复混肥^[12](肥料由缓释性母粒与速效性外层组成,缓释性母粒为油枯、菌渣、牛粪、桔秆等固态有机物料经密闭发酵后与无机养分按一定比例混合,经圆盘造粒,生产出有机质含量在20%以上,养分比例占60%~80%的有机无机复混肥;速效性外层以腐殖酸等可溶性有机物料为主,通过喷浆造粒法喷涂于缓释性母粒外,形成有机质含量在5%~10%,养分比例占20%~40%速效性外层)。通过对四川油菜需肥特性研究^[13]和查阅相关文献^[14-16],研制出3个速效缓释型有机无机复混肥油菜专用肥配方,在四川平原与丘陵地区开展速效缓释型有机无机复混肥油菜专用配方和施用方法研究,并进行效果验证,为油菜轻简高效栽

收稿日期:2021-11-22 修回日期:2022-03-20

基金项目:四川省科技支撑(2014NZ0097);四川省农业科学院现代农业科学技术和产品产业化示范项目(2019-13);现代农业学科建设推进工程(2021XKJS089)。

第一作者:余垚颖,女,助理研究员,研究方向为植物营养与新型肥料研制。E-mail:kellyyysj@163.com

通信作者:王明富,男,副研究员,研究方向为新型肥料研制。E-mail:wmf.nky@163.com

培提供理论依据。

1 材料与方 法

1.1 试验地点与材料

供试品种为‘德新油 49’和‘德郁油 1 号’。

供试肥料:美丰比利夫复合肥(22-8-10)、尿素、硼酸、台沃复合肥(24-11-5)、SH1(速效缓释

型有机无机复混肥 16-6-8)、SH2(速效缓释型有机无机复混肥 20-5-5)、SH3(速效缓释型有机无机复混肥 18-5-7),以上 3 种有机无机复混肥均由四川省农业科学院植物保护研究所根据油菜需肥特性结合有机无机复混肥二次成型技术自主研制,经检测完全符合 GB18877-2009 标准。

供试土壤见表 1。

表 1 土壤基本情况

Table 1 Basic information of soil

试验名称 Test name	地区(地点) Site	pH	有机质/% Organic matter	碱解氮/ (mg/kg) Alkali hydrolyzed nitrogen	有效磷/ (mg/kg) Available phosphorus	速效钾/ (mg/kg) Available potassium
配方筛选研究 Research of formula screening	丘陵 Hilly	6.89	2.45	89.67	25.89	128.76
	平原 Plain	5.89	3.45	113.70	17.79	134.76
施用方法研究 Research of application methods	丘陵 Hilly	5.92	3.67	112.10	15.71	121.16
效果验证试验 Effectiveness verification test	平原、丘陵 Plain and Hilly	5.32~7.43	2.15~3.87	89.67~156.45	11.65~35.71	96.56~143.72

1.2 试验设计与处理

速效缓释型有机无机复混肥油菜专用配方筛选试验:为明确自主研发的 3 个速效缓释型有机无机复混肥配方对油菜产量和肥料贡献率的影响,筛选出油菜专用配方。在丘陵(四川中江辑庆镇)和平原(四川德阳天元镇白山村)地区,以当地

常规栽培施肥量和方 法为标 准,开展配方筛选试验,设 5 个处理,C0:无肥;CK:当地常规施肥;C1:SH1;C2:SH2;C3:SH3,每个处理重复 3 次,共 15 个小区,具体施肥方 式见表 2,每个试验点除无肥外,其余处理氮、磷、钾总含量一致,数据分析以试验点为单 位,单独分析。

表 2 具体施肥方 式

Table 2 Specific fertilization method

地区 Site	处理 Treatment	基肥(移栽时) Base fertilizer (Transplanting period)	追肥(移栽 50 d) Topdressing (transplanting for 50 d)
丘陵 Hilly area	CK	窝施 600 kg/hm ² 台沃复合肥 Nest application of 600 kg/hm ² Taiwo compound fertilizer	
	C1	窝施 799.5 kg/hm ² SH1 Nest application of 799.5 kg/hm ² SH1	
	C2	窝施 799.5 kg/hm ² SH2 Nest application of 799.5 kg/hm ² SH2	
	C3	窝施 799.5 kg/hm ² SH3 Nest application of 799.5 kg/hm ² SH3	
平原 Plain	CK	撒施 600 kg/hm ² 美丰比利夫复合肥 Broadcast 600 kg/hm ² Mei Feng Belief compound fertilizer	撒施 37.5 kg/hm ² 尿素+7.5 kg/hm ² 硼酸 Broadcast 37.5 kg/hm ² Urea and 7.5 kg/hm ² boric acid
	C1	撒施 799.5 kg/hm ² SH1 Broadcast 799.5 kg/hm ² SH1	撒施 57 kg/hm ² SH1 Broadcast 57 kg/hm ² SH1
	C2	撒施 799.5 kg/hm ² SH2 Broadcast 799.5 kg/hm ² SH2	撒施 57 kg/hm ² SH2 Broadcast 57 kg/hm ² SH2
	C3	撒施 799.5 kg/hm ² SH3 Broadcast 799.5 kg/hm ² SH3	撒施 57 kg/hm ² SH3 Broadcast 57 kg/hm ² SH3

速效缓释型有机无机复混肥 SH3 施用方 法研究:综合分析配方筛选试验,在肥料贡献率、农学利用率、产量等方 面以 SH3 (18-5-7)效果最好

(见下文 2.1 部分)。在四川中江对 SH3 的施用方 式进行大田小区试验,试验共设 5 个处理,M0:无肥;MK:常规肥(移栽时窝施 600 kg/hm² 台沃

复合肥); M1: 基肥一次性施用(移栽时窝施 799.5 kg/hm² SH3); M2: 基肥+追肥(移栽时窝施 239.85 kg/hm² SH3, 移栽 50 d 左右窝施 559.65 kg/hm² SH3); M3: 追肥一次性施用(移栽 50 d 左右窝施 799.5 kg/hm² SH3), 每个处理重复 3 次, 共 15 个小区, 除无肥外, 其余处理氮、磷、钾总含量一致。

验证试验: 为了验证速效缓释型有机无机复混肥油菜专用配方肥 SH3 的应用效果, 在四川平原和丘陵地区, 布置 6 个 SH3 应用效果示范试验, 设 3 个处理, 无重复。T0: 无肥; TK: 当地常规施肥(丘陵: 移栽时窝施 600 kg/hm² 台沃复合肥; 平原: 移栽时撒施 600 kg/hm² 美丰比利夫复合肥, 移栽 50 d 左右撒施 37.5 kg/hm² 尿素+7.5 kg/hm² 硼酸); T1: SH3(丘陵: 移栽时窝施 799.5 kg/hm² SH3; 平原: 移栽时撒施 856.5 kg/hm² SH3), 每个试验点除无肥外, 其余处理氮、磷、钾总含量一致。

1.3 样品采集与测定

各试验点土壤及植物样品的采集和测定均采用如下方法进行^[17-18]。

油菜成熟后, 每小区采集 3~5 株油菜植株, 风干脱粒后, 分茎秆、角壳和籽粒, 于 60 °C 烘干粉碎, 然后 H₂SO₄-H₂O₂ 消煮, 用连续流动分析仪(AA3)测定植株全氮、全磷, 用火焰光度计测定植株全钾。

考种与计产, 收获期每小区随机取样 10 株, 进行株高、有效荚数、有效荚果数、无效荚果数、千粒质量等的测量或计数; 油菜籽产量由各小区单打单收的实收产量换算。

1.4 相关参数计算^[19-21]

肥料农学利用率(Agronomic efficiency, AE, kg/kg) = (施肥区产量 - 无肥区产量) / (施 N 量 + 施 P₂O₅ 量 + 施 K₂O 量)。

肥料贡献率(fertilizer contribution rate, FCR, %) = (施肥区产量 - 不施肥区产量) / 施肥区产量 × 100%

地力贡献率(soil contribution rate, SCR, %) = 不施肥区产量 / 施肥区产量 × 100%

收获指数(harvest index, HI, kg/kg) = 籽粒产量 / 地上部总产量

氮收获指数(nitrogen harvest index, NHI, kg/kg) = 籽粒吸氮量 / 地上部总吸氮量, 同理计算磷、钾收获指数(PHI, KHI)

产值(元/hm²) = 籽粒产量 × 油菜籽价格

投入成本(元/hm²) = 肥料成本 + 施肥用工成本

肥料效益(元/hm²) = 施肥产值 - 不施肥产值 - 投入成本

产投比 = (施肥产值 - 不施肥产值) / 投入成本

使用 Microsoft Excel 2007 处理数据和作图, 用 SPSS 软件进行其他统计分析。

2 结果与分析

2.1 速效缓释型有机无机复混肥油菜专用配方的筛选

2.1.1 有机无机复混肥不同配方对油菜产量的影响 表 3 表明, 不同配方对油菜产量构成因子差异较大, C2 和 C3 在株高、单株有效角数、千粒质量上均要好于 CK, 但不存在显著性差异; C1、C2 和 C3 的产量均高于 CK, 以 C3 处理产量最高, 且平原试验点的 C3 与 CK 之间存在显著性差异; C2 和 C3 收获指数高于 CK, 且平原试验点 C3 与 CK 之间存在显著性差异。可见, 自主研发的 3 个有机无机复混肥与当地常规肥相比, 更能促进光合产物向油菜籽粒转移, 从而提高油菜产量, 以 SH3(18-5-7) 增产效果最好。

2.1.2 有机无机复混肥不同配方对肥料贡献率与农学利用率的影响 肥料贡献率是反映年投入肥料的生产能力的指标, 两试验点肥料对油菜产量的贡献率变幅为 23.45%~42.01%, 以 C3 处理最高, 平原试验点 C3 与 CK 之间存在显著性差异; 不同处理间农学利用率的变幅为 2.34~6.33 kg/kg, 其中 C3 处理的农学利用率显著高于 CK(表 4)。表明: 自主研发的 3 个有机无机复混肥能提高肥料贡献率和农学利用率, 以 SH3(18-5-7) 最好。

2.1.3 有机无机复混肥不同配方对养分收获指数的影响 养分收获指数是反映作物生长后期养分由营养体向籽粒转移的强度。由表 5 可知: 平原试验点, 氮收获指数(NHI)、磷收获指数(PHI)和钾收获指数(KHI)值以 C3 处理最高, 且 C3 的 NHI 和 PHI 与 CK 存在显著性差异; 丘陵试验点, C2 和 C3 的 NHI 和 KHI 均大于 CK。表明: SH3(18-5-7) 与当地常规肥相比, 更有利于养分向油菜籽粒运输, 增加收获期植株养分总量中籽粒养分所占的比例。

表 3 不同配方有机无机复混肥油菜植株生长及产量

Table 3 Plant growth and yield of rape with different formula of organic inorganic compound fertilizer

处理 Treatment	株高/cm Plant height	单株有效角数 Effective pods per plant	千粒质量/g 1 000- grain mass	产量/(kg/hm ²) Yield	收获指数 HI	
平原 Plain	CK	163.45 a	938.67 a	4.37 a	2 897 b	0.38 b
	C1	150.11 a	1 291.33 a	4.50 a	3 305 a	0.42 ab
	C2	160.78 a	1 063.67 a	4.02 a	3 199 ab	0.44 ab
	C3	157.34 a	1 161.33 a	4.50 a	3 554 a	0.51 a
丘陵 Hilly area	CK	207.18 a	599.33 ab	2.90 a	2 931 a	0.35 a
	C1	203.01 a	569.67 b	3.09 a	2 940 a	0.31 a
	C2	209.56 a	662.00 ab	3.13 a	3 216 a	0.37 a
	C3	210.10 a	789.67 a	3.35 a	3 392 a	0.36 a

注:同列不同字母表示差异显著($P < 0.05$)。下同。

Note: Different letters within same columns mean significantly different ($P < 0.05$). The same below.

表 4 不同配方有机无机复混肥肥料贡献率和农学利用率

Table 4 Fertilizer contribution rate and agricultural utilization rate of new fertilizer with different formulas

处理 Treatment	平原 Plain		丘陵 Hilly area	
	肥料贡献率/% Fertilizer contribution rate	农学利用率/(kg/kg) Agronomic efficiency	肥料贡献率/% Fertilizer contribution rate	农学利用率/(kg/kg) Agronomic efficiency
CK	31.12±5.08 b	3.99±0.84 b	28.67±5.28 a	3.33±0.85 a
C1	36.24±1.57 ab	5.00±0.34 ab	28.76±6.31 a	3.33±1.02 a
C2	33.83±5.86 ab	4.55±1.34 b	35.20±1.49 a	4.40±0.29 a
C3	40.72±1.32 a	6.03±0.033 a	38.47±3.27 a	5.09±0.71 a

注:数值表示“平均值±标准差”,小写字母表示不同处理间的显著差异性($P < 0.05$)。下同。

Note: Numerical value indicates “mean ± standard deviation”, and lowercase letters indicate significant differences between different treatments. The same below.

表 5 不同配方有机无机复混肥养分收获指数分析

Table 5 Analysis of nutrient harvest index of different formulas of new fertilizer

处理 Treatment	平原 Plain			丘陵 Hilly area		
	NHI	PHI	KHI	NHI	PHI	KHI
CK	0.59±0.07 c	0.44±0.03 b	0.10±0.01 a	0.64±0.06 ab	0.75±0.03 b	0.14±0.02 ab
C1	0.65±0.04 bc	0.46±0.04 b	0.10±0.01 a	0.61±0.04 b	0.80±0.01 ab	0.10±0.02 b
C2	0.74±0.03 ab	0.64±0.03 a	0.10±0.01 a	0.75±0.06 a	0.85±0.04 a	0.17±0.03 a
C3	0.79±0.05 a	0.69±0.07 a	0.19±0.01 a	0.73±0.04 a	0.46±0.01 c	0.14±0.01 ab

表 6 不同施肥方式油菜植株生长及产量构成因素

Table 6 Rape plant growth and yield constituents of different fertilization patterns

处理 Treatment	株高/cm Plant height	单株有效角数 Effective pods per plant	千粒质量/g 1 000- grain mass	产量/(kg/hm ²) Yield	增产率/% Yield-increasing rate
M0	181.78 c	512.67 c	2.37 c	1 884 d	
MK	215.67 a	711.00 ab	2.98 b	2 813 c	
M1	207.74 b	722.00 ab	3.24 b	3 364 ab	19.59
M2	215.23 a	723.67 a	3.68 a	3 530 a	25.49
M3	217.53 a	698.33 b	3.20 b	3 145 b	11.80

2.2 SH3 施用方法研究

2.2.1 不同施肥方式对油菜产量的影响 由表 6 可知,SH3 不同施肥方式间油菜产量构成因子

差异较大,株高的排序为 M2 > M3、MK > M1 > M0,且 MK、M1、M2 及 M3 在株高上显著高于 M0;单株有效角数和千粒质量的排序为 M2 > M3

>M1>MK>M0,其中 M2 千粒质量显著好于其他处理;产量变幅在 1 884~3 530 kg/hm²,其中 M1、M2、M3 的产量显著好于 MK,以 M1 产量最高,M1 与 M2 差异不显著,与常规肥相比,SH3 不同施用方式最高增产率为 25.49%。表明 SH3 (18-5-7)“基施+追施”方式效果最好,“基肥一次性施用”次之,但两者之间差异不显著。

2.2.2 不同施肥方式对肥料贡献率的影响 表 7 表明,不同处理间的肥料贡献率和农学利用率的变幅分别为 32.94%~46.55%和 3.62~6.42 kg/kg,排序为 M2>M1>M3>MK,其中 M2 和 M1 显著高于 MK,且 M2 与 M1 之间差异不显著。表明:SH3 采用“基施+追施”的方式更有利于养分向籽粒运输,“基肥一次性施用”效果次之,两者之间差异不显著。

表 7 不同施肥方式肥料贡献率

Table 7 Fertilizer contribution rate of different fertilization methods

处理 Treatment	肥料贡献率/% Fertilizer contribution rate	农学利用率/(kg/kg) Agronomic efficiency
MK	32.94 c	3.62 c
M1	43.96 ab	5.61 ab
M2	46.55 a	6.42 a
M3	39.71 b	4.92 bc

2.2.3 不同施肥方式对油菜经济效益的影响

由表 8 可知,油菜籽产值排序为 M2>M1>M3>MK>M0,其中 M2 是 M0 的近 2 倍;投入成本以 M2 处理最高,4 118 元/hm²;肥料效益为 M2>M1>M3>MK,M2 较 MK 高 2 498 元/hm²,M2

表 8 不同施肥方式油菜经济效益分析

Table 8 Analysis of economic benefit of rape with different fertilization patterns

处理 Treatment	产值/(元/hm ²) Output value	投入成本/(元/hm ²) Input cost		肥料效益/ (元/hm ²) Fertilizer benefit	产投比 The ratio of output to input
		肥料成本 Fertilizer cost	人工成本 Labor cost		
M0	10 552	0.00	0.00	—	—
MK	15 752	1 800	800	2 600	2.00
M1	18 838	2 878	800	4 608	2.30
M2	19 768	2 878	1 240	5 098	2.28
M3	17 614	2 878	800	3 384	1.96

注:油菜籽收购价格为 5.3 元/kg,台沃复合肥 3.00 元/kg;新型肥料 3.60 元/kg,人工费为 80 元/工;M1、M2 和 M4 用工量为 10 工/hm²,M3 用工量 15 工/hm²。

Note: The purchasing price of rapeseed was 5.3 yuan/kg, Taiwo compound fertilize was 3.00 yuan/kg, new fertilizer was 3.60 yuan/kg, the cost of labor was 80 yuan/labor, the labor volume of M1, M2 and M4 was 10 labor/hm², M3 was 15 labor/hm²

2.3.2 SH3 对肥料贡献率和农学利用率的影响 由表 10 可知,N、P、K 养分指数均为 T1 高于

与 M1 之间相差 490 元/hm²;产投比排序为 M1>M2>M3>MK,其中 MK、M1 和 M2 处理产投比均大于 2,均达到经济效益显著(根据中国农业生产实际情况,当施用肥料的产投比>2.0 时认为经济效益显著^[22-23])。上述结果表明:速效缓释型有机无机复混肥 SH3 从产值、效益、产投比上均要高于常规肥,以“基施+追施”方式产值及效益最好,“基肥一次性施用”效果次之,产投比则是“基肥一次性施用”最高,“基施+追施”方式次之。

2.3 速效缓释型有机无机复混肥油菜专用肥(SH3)效果验证

2.3.1 SH3 对油菜产量及经济效益的影响 从表 9 可知,各试验点油菜基础产量与施肥后增产效果差异较大,与 T0(不施肥)处理相比,TK 与 T1 处理均能显著增加油菜产量,平均增加 1 087 kg/hm² 和 1 557 kg/hm²,T1 较 TK 增产 470 kg/hm²,且两者之间达到显著性差异;TK 与 T1 产值均显著高于无肥,且平均施肥效益均达 2 500 元以上;T1 油菜产值为 18 329 元/hm²,较常规肥平均增加 2 493 元/hm²;T1 处理肥料成本(SH3 产业化生产后,将会明显地降低其肥料成本)和施肥用工成本,较常规肥增加 860 元/hm² 和 -100 元/hm²;扣除投入成本后,T1 处理施肥效益 4 451 元/hm²,较常规肥增加 1 632 元/hm²;T1 处理产投比 2.23,较常规肥高 0.27。表明:施肥后能显著提高油菜籽产量、产值及效益,且 SH3 肥料效果更好,经济效益显著。

TK 处理,且 T1 处理的 NHI 显著高于 TK;T1 处理的肥料贡献率为 41.98%,较 TK 显著提高

8.57%；T1 的农学利用率与 TK 相比提高 1.62 kg/kg,且两者之间存在显著性差异。说明速效缓释型有机无机复混肥油菜专用肥 SH3 有

利于氮养分向油菜籽粒运输,增加了收获期植株养分总量中籽粒养分所占的比例。

表 9 常规肥与新肥油菜经济效益对比分析

Table 9 Comparative analysis of rape economic benefit between conventional fertilizers and new fertilizers

处理 Treatment	产量/ (kg/hm ²) Yield	增产量/ (kg/hm ²) Yield-increase amount	产值/ (元/hm ²) Output value	投入成本/(元/hm ²) Input cost		肥料效益/ (元/hm ²) Fertilizer benefit	产投比 The ratio of output to input
				肥料成本 Fertilizer cost	人工成本 Labor cost		
T0	1 901±76 c		10 076±404 c				
TK	2 988±141 b	1 087±83	15 836±749 b	1 995±214	947±235	2 819±385	1.96±0.12
T1	3 458±138 a	1 557±157	18 329±733 a	2 855±62	847±233	4 451±772	2.23±0.22

注:油菜籽收购价格为 5.3 元/kg,台沃复合肥 3.00 元/kg;美丰比利夫复合肥 3.40 元/kg;新型肥料 3.60 元/kg,尿素 3.00 元/kg,硼肥 5 元/kg,各地用工费用 80~100 元/工;用工量 7.5~16 工/hm²。

Note: The purchasing price of rapeseed was 5.3 yuan/kg, Taiwo compound fertilize was 3.00 yuan/kg, Meifeng Belief compound fertilizer was 3.40 yuan/kg, new fertilizer was 3.60 yuan/kg, urea was 3.00 yuan/kg, boron fertilizer was 5 yuan/kg, the cost of labor was 80-100 yuan/labor, the labor volume was 7.5-16 labor/hm².

表 10 养分收获指数、肥料贡献率及农学利用率

Table 10 Nutrient harvest index, fertilizer contribution rate and agricultural utilization rate

处理 Treatment	NHI	PHI	KHI	肥料贡献率/% Fertilizer contribution rate	农学利用率/(kg/kg) Agronomic efficiency
TK(常规肥)	0.64±0.04 b	0.74±0.03 a	0.13±0.02 a	33.41±4.32 b	4.25±0.80 b
T1(SH3)	0.75±0.04 a	0.56±0.02 a	0.15±0.01 a	41.98±3.67 a	5.87±0.77 a

3 讨论

目前,农民常规施肥是以国家测土配方施肥项目成果为依据的推荐施肥,其肥料用量、养分配比和施肥方式均有较大改进,但肥料品种依旧受市场控制^[24]。市面上销售的肥料以化学肥料和复合肥为主,一次性集中施用,肥料养分释放快,肥效短,难以满足作物整个生育期的养分需求且易造成烧苗现象。本试验对研制出的 3 个速效缓释型有机无机复混肥油菜专用配方和施用方法进行大田小区试验表明:SH3(18-5-7)和 SH2(20-5-5)两个配方在肥料贡献率、农学利用率、NHI、KHI、养分收获指数、产量上均优于常规肥,其中 SH3(18-5-7)效果最佳;采用“基施+追施”的方式更有利于养分向籽粒运输,从而增加油菜籽产量与产值,“基肥一次性施用”次之,但两者之间差异不显著,产投比则是“基肥一次性施用”最高。综上所述,速效缓释型有机无机复混肥油菜最适配方为 SH3(18-5-7),采用“基肥一次性施用”和“基施+追施”两种方式次均显著地提高油菜籽产量和产值。

油菜作为耐肥性作物,产量、效益的提高与施肥关系密切。普通化肥,养分易淋失,单独一次性

施用,难以满足作物整个生育期的需求,需根据作物需肥规律,分次施用或与具有缓释效果的肥料配合施用^[25];缓控肥,目前的技术已能生产出满足作物需求的肥料,但其工艺复杂价格高,部分包膜类缓控释肥,长期使用会给土壤环境和作物带来不良影响;有机肥改良土壤,但养分含量有限,需与其他肥料配合施用;有机无机复混肥是以堆肥为有机原料,以无机氮磷钾为主要养分来源的一种能改良土壤的缓释性肥料,兼有有机肥料和无机肥料特点^[26]。本试验研制出与油菜养分需求基本协调的速效缓释型有机无机复混肥,其缓释内层养分比例占 60%~80%,有机质≥20%,为油菜中后期生长提供养分;速效性外层养分比例占 20%~40%,有机质<10%,为油菜前期生长提供养分。在 6 个试验点进行 SH3(18-5-7)示范效果验证表明:肥料贡献率、产量、肥料效益和产投比均值分别为 41.98%、3 458 kg/hm²、4 451 元/hm² 和 2.23,较常规肥农学利用率提高 1.62 kg/kg,肥料贡献率提高 8.57%,增产 470 kg/hm²,肥料效益提高 1 632 元/hm²,实现了“底肥一道清”轻简施肥目标。在四川 120 万 hm² 的油菜田中推广速效缓释型有机无机复混肥油菜专用肥,同时结合免耕、直播、机械收割、秸秆粉碎还

田等轻简化技术,将显著地提高油菜籽的产量及经济效益,从而提高农民种植油菜的积极性。

4 结 论

本试验以速效缓释型有机无机复混肥为研究对象,以油菜为载体作物,综合分析肥料贡献率、农学利用率、产量、经济效益、产投比等表明:有机无机复混肥 SH3(18-5-7)是适合油菜种植的最佳配方,采用“基肥一次性施用”和“基施+追施”两种方式均显著提高油菜籽的产量及经济效益,结合各地劳动力实际情况可任选其一,从而提高农民种植油菜的积极性,提高国内食用油自给率。

参考文献 Reference:

- [1] 鲁剑巍,任涛,丛日环,等.我国油菜施肥状况及施肥技术研究展望[J].中国油料作物学报,2018,40(5):712-720.
LU J W,REN T,CONG R H,*et al.* Prospects of research on fertilization status and technology of rapeseed in China [J]. *Chinese Journal of Oil Crop Sciences*, 2018, 40(5): 712-720.
- [2] 张洋洋,鲁剑巍,邹娟,等.冬油菜施钾的增产效果和肥料利用率研究[J].中国土壤与肥料,2013(5):51-55.
ZHANG Y Y,LU J W,ZOU J,*et al.* Effect of potassium fertilizer on yield increase and potassium nutrient utilization for winter rapeseed[J]. *Soil and Fertilizer Sciences in China*, 2013(5):51-55.
- [3] 李银水,鲁剑巍,廖星,等.氮肥用量对油菜产量及氮素利用效率的影响[J].中国油料作物学报,2011,33(4):379-383.
LI Y SH,LU J W,LIAO X,*et al.* Effect of nitrogen application rate on yield and nitrogen fertilization efficiency in rapeseed[J]. *Chinese Journal of Oil Crop Sciences*, 2011, 33(4):379-383.
- [4] 张辉,朱德进,黄卉,等.不同施肥处理对油菜产理及品质的影响[J].土壤,2012,44(6):966-971.
ZHANG H,ZHU D J,HUANG H,*et al.* Effects of different fertilizer treatments on yield and quality of rapeseed (*Brassica napus* L.) [J]. *Soils*, 2012, 44(6):966-971.
- [5] 崔文慧,王干,韩守良,等.不同缓释肥施用比例对油菜生长及土壤养分的影响[J].河南农业科学,2013,42(3):59-62.
CUI W H,WANG G,HAN SH L,*et al.* Effects of different proportions of slow-release fertilizer on rape growth and soil nutrients[J]. *Journal of Henan Agricultural Sciences*, 2013, 42(3):59-62.
- [6] GRANT C A,WU R,SELLES F,*et al.* Crop yield and nitrogen concentration with controlled release urea and split applications of nitrogen as compared tonon-coated urea applied at seeding[J]. *Field Crops Research*, 2012, 127(1): 170-180.
- [7] XIE Y D,YANG X D,CAO Y P,*et al.* Evaluation of determination methods for nutrient release characteristics of coated controlled-release fertilizer under soil and water incubation conditions[J]. *Plant Nutrition& Fertilizer Science*, 2007,13(3):491-497.
- [8] 四川省农业科学院植物保护研究所.用于圆盘造粒制备有机无机复混肥的热融装置:中国,ZL201720442308.0[P].2017-04-25.
Plant Protection Institute,Sichuan Academy of Agricultural Sciences ,Hot melt device for preparing organic and inorganic compound fertilizer by disk granulation; China, ZL201720442308.0[P]. 2017-04-25.
- [9] 四川省农业科学院植物保护研究所.一种肥料喷涂筒:中国,ZL20202-1645714.5[P].2020-08-10.
Plant Protection Institute,Sichuan Academy of Agricultural Sciences. Fertilizer spraying device; China, ZL2020216-45714.5[P]. 2020-08-10.
- [10] 四川省农业科学院植物保护研究所.一种固态有机物料密闭发酵加工制备系统:中国,ZL202020405586.0[P].2021-04-30.
Plant Protection Institute,Sichuan Academy of Agricultural Sciences . A closed fermentation processing and preparation system for solid organic materials; China, ZL202020405586.0[P]. 2021-04-30.
- [11] 四川省农业科学院植物保护研究所.一种有机无机复混肥二次成型制备系统:中国,ZL2020-21644618.9[P].2021-08-27.
Plant Protection Institute,Sichuan Academy of Agricultural Sciences. A secondary molding preparation system for organic-inorganic compound fertilizer; China, ZL2020216-44618.9[P]. 2021-08-27.
- [12] 四川省农业科学院植物保护研究所.一种具有速效与缓释功效的有机无机肥料及其制备方法:中国,ZL201410027632.7[P].2014-01-21.
Plant Protection Institute,Sichuan Academy of Agricultural Sciences. An organic-inorganic fertilizer with quick acting and slow-release functions and a preparation method thereof;China,ZL201410027632.7[P]. 2014-01-21.
- [13] 余垚颖,莫太相,刘金丹,等.四川油菜 NPK 吸收利用规律及肥料利用率研究[J].中国农学通报,2018,34(10):35-42.
YU Y Y,MO T X,LIU J D,*et al.* Absorption and utilization of npk and fertilizer use efficiency of rape in Sichuan [J]. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 2018, 34(10): 35-42.
- [14] 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[J].作物学报,2011,37(4):729-734.
ZOU J,LU J W,CHEN F,*et al.* Status of nutrient use efficiencies of rapessed in the Yangtze river basin[J]. *Acta Agronomica Sinica*, 2011, 37(4):729-734.
- [15] 王寅,鲁剑巍,李小坤,等.施肥对红壤地区直播油菜生长,产量及养分吸收的影响[J].中国土壤与肥料,2012

- (1):38-42.
- WANG Y, LU J W, LI X K, *et al.* Effects of fertilizers application on growth, seed yield absorption and accumulation of direct-seeding rape-seed in red soil[J]. *Soil and Fertilizer Sciences in China*, 2012(1):38-42.
- [16] 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.
- LIU X W, LU J W, LI X K, *et al.* Dry matter accumulation and N, P, K absorption and utilization in direct seeding winter oilseed (*Brassica napus* L.) [J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 2011, 44(23):4823-4832.
- [17] 温云杰, 李桂花, 黄金莉, 等. 连续流动分析仪与自动凯氏定氮仪测定小麦秸秆全氮含量之比较[J]. 中国土壤与肥料, 2015(6):146-151.
- WEN Y J, LI G H, HUANG J L, *et al.* Determination nitrogen in the Kjeldahl digests of plant samples by continuous flow analyzer in comparison with auto-mated distillation-titration instrument[J]. *Soil and Fertilizer Sciences in China*, 2015(6):146-151.
- [18] 刘云霞, 温云杰, 黄金莉, 等. AA3 型连续流动分析仪与钼钒黄比色法测定玉米植株全磷含量之比较[J]. 农业资源与环境学报, 2015, 32(6):577-582.
- LIU Y X, WEN Y J, HUANG J L, *et al.* Determination total phosphorus of maize plant samples by continuous flow analyzer in comparison with vanadium molybdate yellow colorimetric method [J]. *Journal of Agricultural Resources and Environment*, 2015, 32(6):577-582.
- [19] 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.
- PENG SH B, HUANG J L, ZHONG X H, *et al.* Research strategy in improving fertilizer-nitrogen use efficiency of irrigated rice in China[J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 2002, 35(9):1095-1103.
- [20] 潘晓华, 邓强辉. 作物收获指数的研究进展[J]. 江西农业大学学报, 2007, 29(1):1-5.
- PAN X H, DENG Q H. Review on crop harvest index[J]. *Acta Agriculturae Universitatis Jiangxiensis*, 2007, 29(1):1-5.
- [21] 周 鹏, 鲁剑巍, 刘 涛, 等. 油菜长效专用配方肥施用效果研究[J]. 中国土壤与肥料, 2015(4):71-75.
- ZHOU L, LU J W, LIU T, *et al.* Effects of the slow-released special formula fertilizer on oilseed rape (*Brassica napus* L.) [J]. *Soil and Fertilizer Sciences in China*, 2015(4):71-75.
- [22] 鲁剑巍, 陈 防, 余常兵, 等. 油菜施钾效果及土壤速效钾临界值初步判断[J]. 中国油料作物学报, 2003, 25(4):107-112.
- LU J W, CHEN F, YU C B, *et al.* Response of rapeseed yield to K application and primary study of soil critical available K content for rapeseed[J]. *Chinese Journal of Oil Crop Sciences*, 2003, 25(4):107-112.
- [23] 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[J]. 作物学报, 2009, 35(1):87-92.
- ZOU J, LU J W, CHEN F, *et al.* Effect of nitrogen, phosphorus, potassium, and fertilizers on yield and profit of rapeseed(*Brassica napus* L.) in the Yangtze river basin [J]. *Acta Agronomica Sinica*, 2009, 35(1):87-92.
- [24] 徐华丽. 长江流域油菜施肥状况调查及配方施肥效果研究[D]. 武汉:华中农业大学, 2012.
- XU H L. Investigation on fertilization and effect of formulated fertilization of winter rapeseed in Yangtze river basin [D]. Wuhan: Huazhong Agricultural University, 2012.
- [25] 李银水, 鲁剑巍, 邹 娟, 等. 湖北省油菜磷肥效应及推荐用量研究[J]. 中国油料作物学报, 2009, 31(1):44-50.
- LI Y SH, LU J W, ZOU J, *et al.* Response to phosphorus application and effective P application for rapeseed in hubei [J]. *Chinese Journal of Oil Crop Sciences*, 2009, 31(1):44-50.
- [26] 余文凯, 苟剑渝, 彭玉龙, 等. 秸秆有机无机复混肥适宜生产工艺参数研究[J]. 土壤通报, 2019, 50(5):1185-1190.
- SHE W K, GOU J Y, PENG Y L, *et al.* Study on optimized production parameters of compound straw organic-inorganic fertilizer[J]. *Chinese Journal of Soil Science*, 2019, 50(5):1185-1190.

Effects of New Fertilizers with Rapid and Slow Release Function on Yield and Fertilizer Utilization in Rape

YU Yaoying¹, ZHANG Lei¹, LIU Jindan², MO Taixiang³,
GUO Yingju¹, CHEN Dairong¹ and WANG Mingfu¹

(1. Plant Protection Institute, Sichuan Academy of Agricultural Sciences, Chengdu 610066 China;

2. Sichuan Agricultural Technology Extension Station, Chengdu 610041, China;

3. Zhongjiang County Bureau of Agriculture, Deyang Sichuan 618000, China)

Abstract In order to solve the problem of rapid and slow release of fertilizer and realize the goal of “one-time fertilization”. From 2016 to 2018, a special formula for rapid impact, slow-release organic

and inorganic compound fertilizer in rape and its application methods were screened and verified in the fields. The test of formula and application method were that: after rape was mature, the total nitrogen, total phosphorus, total potassium and dry matter quality in stems, horn shells and grains were detected, and then the effect of different formulas and application methods on yield, contribution rate of fertilizer and utilization rate of agriculture, etc. were studied. The optimal formula and application method of organic and inorganic compound fertilizer with rapid impact and slow-release were clarified. The results of verification test showed that the contrast test of conventional fertilizer and organic and inorganic compound fertilizer with rapid impact and slow-release in the same field were conducted in six tested sites. The formula screening test showed that each index of SH3(18-5-7) was significantly better than that of conventional fertilizer. The average yield, fertilizer contribution rate and agricultural utilization ratio of SH3 were 3 473 kg/hm², 39.61%, 5.56 kg/kg, respectively; application method test showed that the method of “basal application + topdressing” was more conducive to the transportation of nutrients to grains, thus increasing the yield and output value of rapeseed, followed by “one-time application of basal fertilizer”, but the difference between the two tests was not significant. Compared with conventional fertilization, the highest yield of “basal application + topdressing” was 25.49% and 2 498 yuan/hm², respectively. The ratio of output to input was the highest in “one-time application of basal fertilizer”. The field comparison test showed that: In six tested sites, compared with conventional fertilizer, the organic and inorganic compound fertilizer with rapid impact and slow-release(SH3) increased the utilization rate of agriculture by 1.62 kg/kg, the contribution rate of fertilizer increased by 8.57%, the increase of production was 470 kg/hm², and the benefit was increased by 1 632 yuan/hm². SH3 was organic-inorganic compound fertilizer suitable for rape cultivation. The two methods of “base fertilizer one-time application” and “base fertilizer + topdressing” can significantly improve rapeseed yield, economic benefits and the ratio of output to input, and one fertilization method can be selected based on the actual situation of labor forces in different regions.

Key words Rapid and slow-release; Fertilizer contribution rate; Yield; Fertilizer efficiency; Ratio of output to input

Received 2021-11-22

Returned 2022-03-20

Foundation item Science and Technology Support Project of Sichuan Province (No. 2014NZ0097); Modern Agricultural Technology and Product Industrialization Demonstration Project of Sichuan Academy of Agricultural Sciences(No. 2019-13); Promotion Project of Modern Agricultural Discipline Construction (No. 2021XKJS089).

First author YU Yaoying, female, assistant research fellow. Research area: plant nutrition and development of new fertilizers. E-mail: kellyyyzsj@163.com

Corresponding author WANG Mingfu, male, associate research fellow. Research area: development of new fertilizers. E-mail: wmf.nky@163.com

(责任编辑: 潘学燕 Responsible editor: PAN Xueyan)