

适宜缓释肥用量优化油菜产量形成与氮素利用

陶玥玥, 孙灵湘, 张建栋, 王海候, 孙 华*

(江苏太湖地区农业科学研究所 / 国家油菜产业技术体系苏州综合试验站, 江苏 苏州 215155)

摘 要: 为明确长三角冬油菜种植区专用缓释肥用量 ($N-P_2O_5-K_2O$: 25-7-8) 对油菜生长和产量形成的影响, 以提升油菜增产潜力和资源利用率, 2020—2021 年在江苏省苏州市布置田间试验。试验设置 5 个处理, 分别为不施肥 (CK) 和施用缓释肥处理 (施用量分别为 750、900、1050 和 1200 kg/hm², 分别以 F750、F900、F1050 和 F1200 表示), 并测定油菜产量和产量构成、干物质积累量和氮吸收量变化特征与肥料利用效率等指标。结果表明: 与 CK 相比, 施用缓释肥油菜产量显著增加了 1.81 ~ 2.67 倍, 且在施用量 900 kg/hm² 时产量和肥料贡献率最高 ($P<0.05$), 其他施肥水平间表现相当。油菜产量与分枝数、角果数及株高显著相关。F900 处理油菜角果数显著高于 F1050 和 F1200 处理 ($P<0.05$)。各处理油菜角粒数和千粒重处理间无显著差异。油菜株高随缓释肥用量的增加逐渐增加。缓释肥用量为 750 kg/hm² 时显著抑制油菜苗期地上部干物质积累量和氮素吸收量, 施肥量增加至 1200 kg/hm² 时苗期地上部生物量显著提高了 38.8% ($P<0.05$), 施肥量为 900 和 1050 kg/hm² 则介于中间。油菜花期时则表现为 900 kg/hm² 水平下作物生长速率与氮素吸收速率显著优于其他处理, 缓释肥 750 和 1200 kg/hm² 用量时作物生长速率分别显著降低了 17.4% 和 14.9% ($P<0.05$), 作物氮素吸收速率与生长速率表现趋势基本一致。缓释肥用量的增加显著提高了油菜苗期肥料贡献率, 但是显著降低了肥料农学利用效率。油菜终花期后土壤中无机氮含量随着缓释肥用量的增加呈先增后降的趋势。综上所述, 长三角农区油菜生产缓释肥推荐用量为 900 kg/hm², 其中氮、磷和钾养分投入量分别为 N 225 kg/hm²、 P_2O_5 63 kg/hm² 和 K_2O 72 kg/hm², 可进一步优化油菜不同阶段干物质积累与氮素吸收, 提高油菜分枝数和角果数, 从而提高油菜产量和肥料农学利用效率。

关键词: 缓释肥; 油菜; 产量; 干物质积累; 氮素吸收; 肥料利用率

中国是世界油料消费大国, 作为我国国产植物油的第一大油源, 油菜产业发展对保障我国油料安全至关重要^[1]。施肥是保证油菜产量的重要环节, 尤其氮肥施用对油菜增产的贡献超过 70%^[2-3], 冬油菜氮肥适宜用量为基肥、越冬肥和薹肥分别占全生育期总施氮量的 50% ~ 60%、20% 和 20% ~ 30%^[4]。长三角农区冬油菜生产中同样普遍采用分次施肥技术, 即在种植前一次性基施常规复合肥, 到苗期 (或越冬期) 和抽薹期时分别追施尿素^[5-6]。该技术主要在于可使肥料的氮供应量与油菜生长的氮需求量相匹配, 从而提高氮肥利用效率和产量, 并减少环境氮损失^[2-3]。然而, 随着近年来农业产业结构转型和农村

大量劳动力转移及劳动成本增加, 实际生产中分次施肥技术往往难以落实, 存在生长后期易忽视追肥、运筹比控制粗放等问题, 最终显著减少油菜产量^[5]。

与普通化肥相比, 缓释肥是通过物理或化学复合的方法使其有效养分在一次性施用下可随植物生长在土壤中逐步释放, 具有肥效周期长和养分利用率高等特点^[2, 7-8]。油菜生产中施用缓释肥在减少施肥次数和用量、提高氮素利用率、防控污染和提高产量等方面具有明显优势^[2, 9]。云南地区烟后移栽油菜施用缓释肥可保证产量, 同时减少氮投入量 24.2% 和提升氮肥表观利用率 16.5%^[10]。安徽地区不同茬口下直播油菜施用缓释肥后产量较复合肥追施尿素处理显著增加了 11.7% ~ 16.0%^[11]。显然, 当前生产条件下, 利用缓释肥轻简化高效施用技术可大幅提升油菜生产效益。然而, 以往研究主要集中于等养分下缓释肥类型与普通化肥的应用对比, 而较少关注缓释肥用量研究, 且长三角农区油菜专用缓释肥适宜推荐用量尚不明确。由此, 本研究通过田间试验探究油菜专用缓释配方肥用量对其产量形成、生长特征及养分利用的调

收稿日期: 2022-05-24; 录用日期: 2022-10-02

基金项目: 江苏省重点研发计划 (BE2020385); 国家重点研发计划 (2020YFD1000904); 国家现代农业油菜产业技术体系建设专项 (CARS-12); 苏州市农业科学院基金项目 (21009)。

作者简介: 陶玥玥 (1986-), 副研究员, 博士, 从事农田种植制度与养分管理研究。E-mail: twhhlyty@163.com。

通讯作者: 孙华, E-mail: sunhqzy@163.com。

控效应,以明确长三角农区缓释肥用量适宜推荐水平,为油菜轻简化生产中合理施用缓释肥提供理论依据和技术指导,也对阻控长三角保护区氮素污染具有重要意义。

1 材料与方法

1.1 供试地点与材料

试验于2020—2021年在江苏省苏州市农业科学院望亭基地(31°27'N,120°25'E)进行,试验点属于典型亚热带季风性湿润气候,年平均温度约15.9℃,常年日照总时数约1859h,年无霜期>230d,年降水量约1100mm。试验田土壤类型为典型黄泥土,0~20cm耕层土壤有机质23.9g/kg,全氮1.32g/kg,有效磷3.68mg/kg,速效钾41.2mg/kg,pH6.1。

试验前茬为旱地,油菜种植期为2020年9月至2021年5月。供试油菜品种甘蓝型双低杂交油菜“宁杂1838”由江苏省农业科学院选育,饼粕硫苷含量为24.13μmol/g,芥酸含量为0.6%,籽粒含油量44.28%。供试油菜缓释专用配方肥N-P₂O₅-K₂O为25-7-8,有效硼含量≥0.15%,钙、镁、锌、硫中微量元素含量5%,并含有硝化抑制剂和脲酶抑制剂^[12],由湖北恩施壮农业科技有限公司生产。

1.2 试验设计与实施

试验共设5个处理,分别为不施肥(CK)与缓释肥4种施用水平,包括750、900、1050和1200kg/hm²(分别简写为F750、F900、F1050和F1200)。采用随机区组排列,每个处理3个重复,共15个小区,各小区面积12m²(3m×4m)。油菜种植采用传统育苗移栽方式,2020年9月26日进行播种育苗,11月16日田间移栽,移栽密度为12万株/hm²,行距为50cm,株距为16.7cm。缓释肥采用人工土表撒施方式,移栽前作为基肥一次性施用,各处理氮、磷和钾养分投入量见表1。田间适时进行病虫害防治,各处理田间管理措施保持一致。

表1 各处理下肥料氮、磷和钾养分投入量

处理	缓释肥用量	(kg/hm ²)			
		N	P ₂ O ₅	K ₂ O	总养分
CK	0	0	0	0	0
F750	750	188	53	60	300
F900	900	225	63	72	360
F1050	1050	263	74	84	420
F1200	1200	300	84	96	480

1.3 样品采集与测定

试验开始前采集0~20cm耕层土壤,风干磨细过筛,参照土壤农化分析法^[13]测定土壤基础理化性质。采用外加热-重铬酸钾容量法测定有机质,凯氏定氮法测定全氮,0.5mol/LNaHCO₃浸提-钼锑抗比色法测定有效磷,1.0mol/LNH₄OAc浸提-火焰光度法测定速效钾,pH按土水比1:2.5浸提-电位法测定。油菜移栽1周后定期调查油菜生育期,并分别于油菜的苗期(2021年1月13日)、蕾薹期(2021年2月24日)和花期(2021年3月26日)在每个小区随机选择4株油菜贴地面刈割后测量植株株高、有效叶片数和地上部鲜重。同时在各小区设定微区内采用叶绿素计(Konica Minolta SPAD-502,日本)测定植株最上部展开叶叶片SPAD值,每个小区重复测定5次。油菜植株地上部样品带回实验室后105℃杀青30min,60℃烘干处理,利用烘干失重法测定含水量,计算植株地上部干重。所有样品剪碎充分混匀后从中抽取约500g样品,经粉碎机(FW100,天津泰斯特)粉碎后,过0.25mm筛用于植株氮素含量测定。经H₂SO₄-H₂O₂消煮采用凯氏定氮法测定氮含量,并计算植株氮素养分吸收量。油菜终花期(2021年4月2日)采集0~20cm土层土壤,过筛后采用2mol/LKCl浸提-连续流动分析仪测定土壤无机氮含量。为防止成熟期角果脱落,于成熟期收获前5d(2021年5月19日),各小区选择代表性植株6株(约0.5m²)样方调查单株分枝数、角果数、角粒数和千粒重。随后各小区单独收获籽粒(扣除边行),晾干后测定实际产量。

1.4 数据处理与分析

作物生长速率[t/(hm²·d)]与氮素吸收速率[kg/(hm²·d)]计算方法:由不同生长阶段植株累积地上部生物量或氮吸收量与相应生育期天数的比值表示^[14]。相关肥料利用率计算方法:肥料贡献率(%)用施肥区与无肥区产量差值与施肥区产量比值计算。肥料农学利用率(kg/kg)用施肥区与无肥区产量差值与氮、磷、钾总养分施用量比值计算^[12]。

试验数据采用Excel2016和SAS9.2^[15]进行分析整理;用最小显著性法(LSD)检验数据差异的显著性水平(P<0.05)。采用SAS9.2进行皮尔逊(Pearson)相关分析,所有图形均用Origin9.2进行绘制。

2 结果与分析

2.1 缓释肥施用对油菜产量形成与肥料利用的影响

与不施肥处理相比,缓释肥用量 750、900、1050 和 1200 kg/hm² 下油菜产量分别显著增加了

1.99、2.67、1.81 和 1.97 倍, F900 处理下油菜产量最高 ($P<0.05$), 750、1050 和 1200 kg/hm² 施水平间无显著差异 (图 1a)。F900 处理肥料贡献率较其他施肥处理显著提高了 9.4% ~ 13.1% (图 1b); F750 和 F900 处理的肥料农学利用效率显著高于 F1050 和 F1200 处理 ($P<0.05$, 图 1c)。

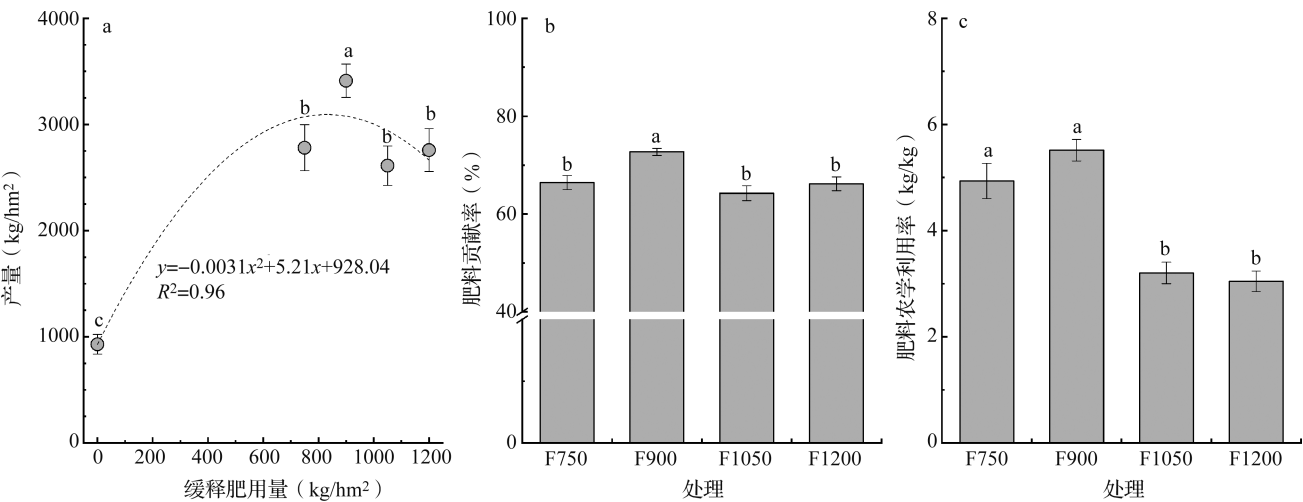


图 1 缓释肥不同施用水平下油菜产量与肥料利用效率

注: 不同小写字母表示不同处理间在 5% 水平差异显著。下同。

如表 2 所示,施用缓释肥显著增加了油菜分枝数、角果数和株高 ($P<0.05$), 与不施肥相比,缓释肥用量 750、900、1050 和 1200 kg/hm² 下油菜角果数分别显著增加了 1.65、2.03、1.21 和 1.49 倍 ($P<0.05$), 呈先增后降的趋势。油菜角粒数和

千粒重在不同施肥处理下无显著差异。与 F750 处理相比, F1200 处理油菜株高显著增加了 10.9% ($P<0.05$), F900 和 F1050 处理油菜株高介于中间。油菜分枝数、角果数及株高与油菜产量显著相关, 相关系数分别为 0.86、0.92 和 0.71 (表 3)。

表 2 缓释肥不同施用水平下油菜产量构成

处理	每株分枝数	每株角果数	每株角粒数	千粒重 (g)	株高 (cm)
CK	6.0 ± 0.6b	193 ± 24c	24.7 ± 1.3a	4.07 ± 0.13a	148 ± 1c
F750	18.7 ± 0.3a	511 ± 15ab	24.3 ± 0.3a	4.04 ± 0.08a	165 ± 9b
F900	22.0 ± 2.3a	585 ± 31a	25.3 ± 2.2a	4.06 ± 0.08a	175 ± 1ab
F1050	20.0 ± 3.1a	427 ± 46b	24.7 ± 1.8a	3.99 ± 0.14a	179 ± 2ab
F1200	22.0 ± 2.5a	482 ± 13b	27.3 ± 0.7a	4.02 ± 0.07a	183 ± 2a

注: 不同小写字母表示不同处理间在 5% 水平差异显著。

表 3 油菜产量构成因子与产量的相关性分析

指标	相关系数	显著性检验
分枝数	0.86	***
角果数	0.92	***
角粒数	0.13	ns
千粒重	-0.19	ns
株高	0.71	**

注: *** 表示达到 $P<0.001$ 水平, ** 表示达到 $P<0.01$ 水平, * 表示达到 $P<0.05$ 显著水平。

2.2 缓释肥施用对油菜地上部干物质积累与肥料利用的影响

与 CK 相比,缓释肥施用显著提高了油菜地上部干重与作物生长速率 ($P<0.05$)。缓释肥用量对油菜地上部干重的影响在不同生育期表现不一, 苗期地上部干重随着缓释肥用量的增加而增加, 与 F750 处理相比, F900、F1050 和 F1200 处理分别显著提高了 19.5%、25.2% 和 38.8% ($P<0.05$)。在蕾

薹期和花期, 缓释肥不同施用水平间地上部干重均无显著差异 (图 2a)。

油菜移栽至苗期阶段, F750 处理作物生长速率最低, F1050 和 F1200 处理表现明显较优。苗期至薹期阶段, 缓释肥不同施用水平下作物生长速率表现相当。薹期至花期阶段, 与 F900 处理相比, F750 和 F1200 处理下作物生长速率分别显著降低了 17.4% 和 14.9% ($P<0.05$, 图 2b)。

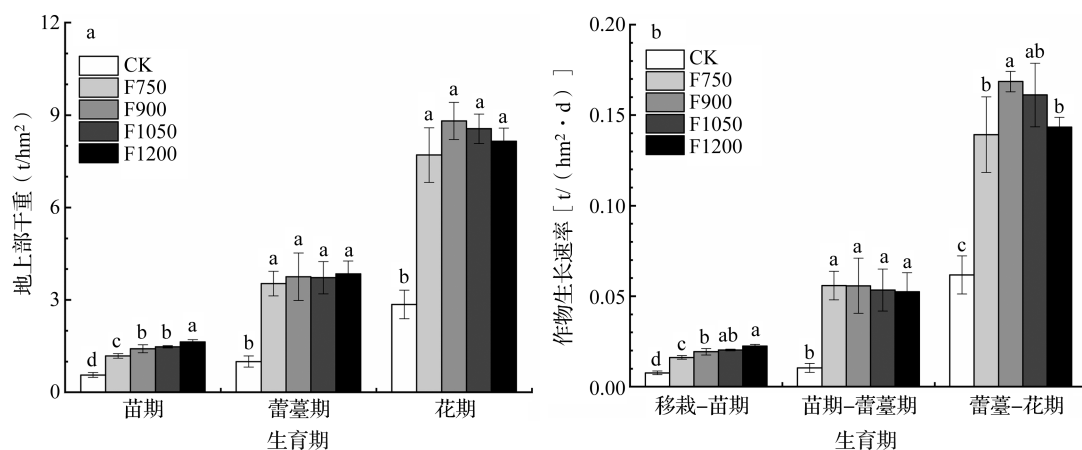


图2 缓释肥不同施用水平下油菜植株地上部干重和作物生长速率

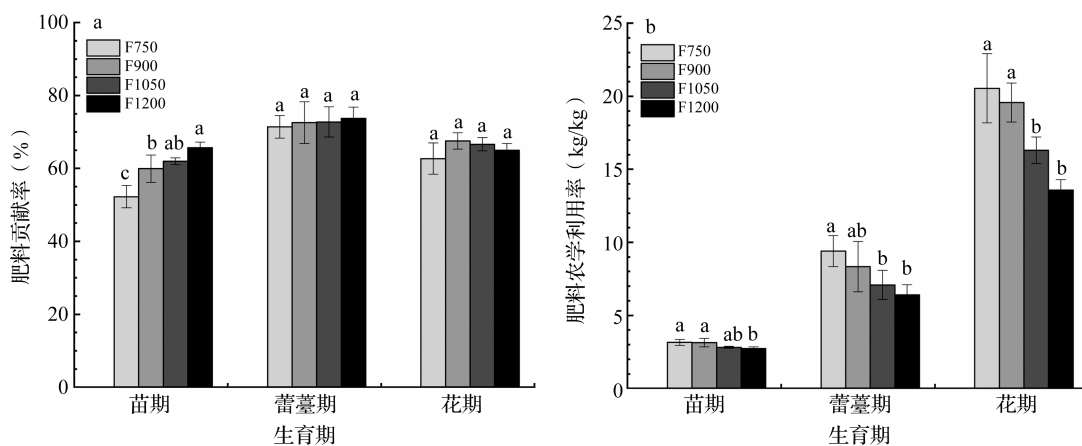


图3 缓释肥不同施用水平下肥料贡献率和肥料农学利用率

2.3 缓释肥用量对油菜氮素吸收利用与 SPAD 的影响

苗期随着施肥量的增加, 油菜植株地上部吸氮量逐渐增加, F900、F1050 和 F1200 处理较 F750 处理分别显著增加了 26.8%、29.1% 和 50.7%。花期 F900 处理油菜植株地上部吸氮量最高 ($P<0.05$, 图 4a)。不同生育阶段油菜植株氮素吸收速率与作物生长速率变化趋势基本一致 (图 4b)。与 F750 处理相比, F900、F1050 和 F1200 处理下苗期油菜叶片 SPAD 值随着施肥水平的增加依次显著增加了 8.5%、10.0% 和 12.2% ($P<0.05$), 薹期时不同施肥水平

下叶片 SPAD 值无显著差异, 花期时 F900 处理叶片 SPAD 值最高, 显著高于 F750 处理, F1050 和 F1200 处理则介于中间 (图 5)。

2.4 缓释肥用量对土壤无机氮含量的影响

土壤无机氮含量随着缓释肥用量的增加呈先增后降的趋势, 与 F750 处理相比, F900 和 F1050 处理土壤硝态氮含量分别显著增加了 46.6% 和 61.0% ($P<0.05$), F1200 处理下土壤硝态氮含量降低 (图 6a)。土壤铵态氮和硝态氮含量在不同处理下差异趋势基本一致 (图 6b)。

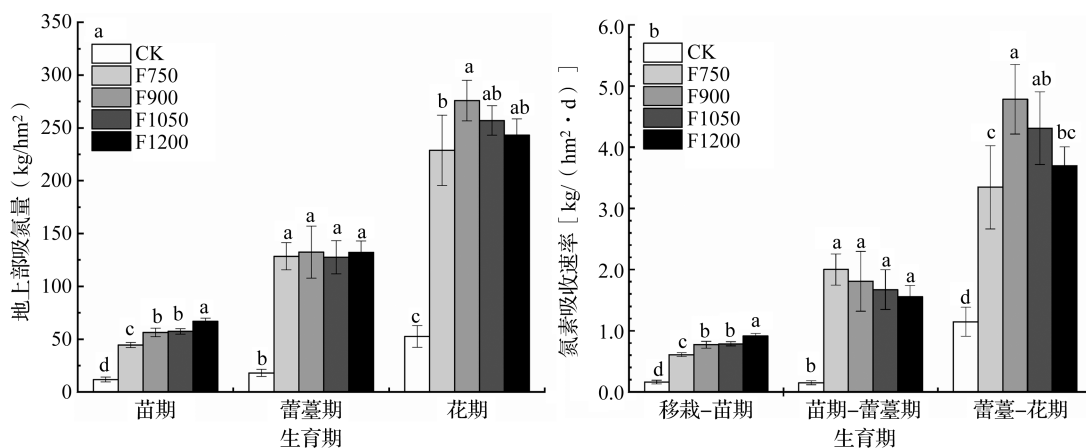


图4 缓释肥不同施用水平下油菜植株地上部吸氮量与氮素吸收速率

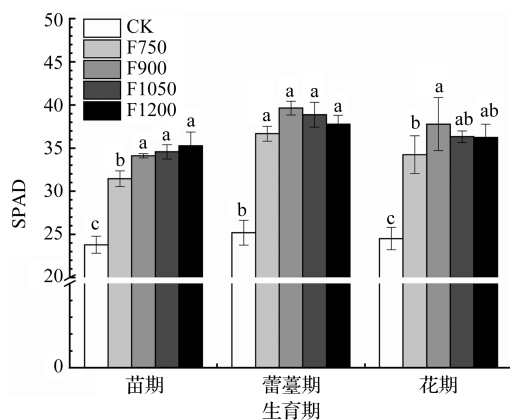


图5 缓释肥不同施用水平下油菜植株叶片 SPAD 值

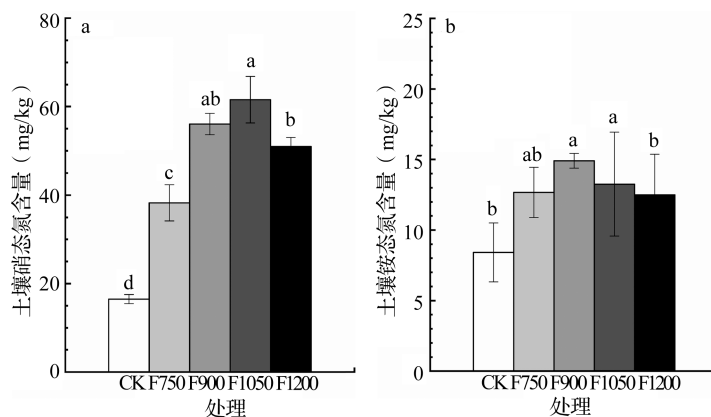


图6 缓释肥不同施用水平下土壤无机氮含量

3 讨论

3.1 缓释肥用量对油菜产量与肥料利用率的影响

本文研究发现长三角农区冬油菜施用 750 ~ 1200 kg/hm² 专用缓释肥时,油菜产量随施用量增加呈先增后降的趋势,并在 900 kg/hm² 施用水平下产量达到最高(图 1a),表明适宜缓释肥用量可提升油菜增产潜力,过低或过高用量不利于增产。在我国多个冬油菜主产省布置的 47 个田间试验中,一次基施油菜专用缓释肥(25-7-8)在 80% 以上的试验点表现稳产或增产,较常规施肥平均增产率为 5.3%,显著提高了养分利用率和经济效益,可作为油菜轻简化施肥的一项重要技术手段^[2, 16]。目前关于该缓释肥在各地试验结果表现不尽一致。在四川紫色土稻田油菜主产区施用油菜缓释肥(25-7-8),油菜产量、肥料贡献率和农学利用率同样随着施用量的增加(0 ~ 900 kg/hm²)呈先增后降的趋势,但施用水平达到 600 ~ 750 kg/hm² 时,油菜产

量为 2501 ~ 2697 kg/hm²,表现最优^[17]。在江西红壤地区油菜缓释肥侧位深施研究中,在施肥量 0 ~ 900 kg/hm² 范围内,三熟制和两熟制油菜产量均随施肥量的增加而增加,分别在 600 和 750 kg/hm² 施用水平下产量表现最优;通过模型计算采用缓释肥侧位深施技术,三熟制和两熟制油菜适宜用量分别为 586 和 716 kg/hm²,目标产量分别达到 1708 和 2439 kg/hm²,同时显著提高肥料利用效率 and 经济效益^[18]。然而,也有研究指出,在土壤肥力较低时或目标产量达 3000 kg/hm² 高产时,缓释肥 600 ~ 750 kg/hm² 的施用水平并不能满足油菜生长需要^[19],上述差异主要由不同试验区域种植制度、气候环境、立地条件及品种差异等多方面因素造成的。

3.2 缓释肥用量对油菜干物质积累与氮素吸收利用的影响

在一定范围内,油菜产量与植株干物质总积累量呈正相关关系^[20-21],而各生育阶段油菜植株氮素的适时供应与其干物质质量积累关系密切^[22]。

油菜苗期吸氮约占总吸氮量的 22%，薹期和花期吸氮量占 55%，成熟期吸氮量占 23%^[23]。本试验中，缓释肥 900 kg/hm² 施用水平下油菜各生育阶段氮素吸收速率和干物质积累速率均表现最优（图 4b 和 2b）。这可能是由于缓释肥用量 900 kg/hm² 时肥料养分释放量与油菜生长的养分需求量更为吻合，主要表现在通过调控氮素的供应以保障前期积累和后期利用，改善中后期土壤氮素供应和土壤酶活性，提高了作物有效性^[24-25]，同时协调促进植株的生长发育和产量形成能力，进而增强养分吸收，提高叶片 SPAD 值（图 5），改善了植株光合碳同化能力^[26]，实现“前促后稳”的氮素管理策略而利于油菜产量的提高^[3]。当缓释肥用量为 750 kg/hm² 水平时油菜产量显著下降（图 1a），油菜植株分支数和角果数均有下降趋势（表 2），这与苗期地上部干物质积累量与氮素吸收量受抑制显著相关（图 2a 和 4b），这可能是由于缓释肥养分释放速率较普通化肥相对较慢，缓释肥 750 kg/hm² 施用水平不足，出现肥料养分释放量相对较低，此外，长三角农区油菜移栽至苗期正值冬季气温较低，土壤湿度高，易受渍害等问题而降低土壤氮素矿化能力^[2, 27]，影响油菜苗期生长发育，抑制了油菜高产潜力。值得注意的是，较高缓释肥施用水平下（1050 ~ 1200 kg/hm²），尽管在苗期时油菜地上部干物质、氮素吸收、叶片 SPAD 值均显著增加，随后油菜生长表现相反，花期时油菜地上部吸氮量及土壤无机氮含量低于 900 kg/hm² 处理（图 2、4 和 5）。这可能与本试验条件下缓释肥养分释放与作物生长需求匹配特征相关，较高施肥水平处理下油菜生长前期释放大量有效氮，一方面促进苗期营养器官对氮素大量吸收，另一方面由于前期作物生长对氮素需求有限，也可能加剧氮素环境损失，出现薹期至花期后氮素利用不足而抑制作物生长，影响角果形成（表 2 和图 1），并降低氮肥利用率（图 3），不利于油菜增产的同时造成资源浪费^[28-30]。综上所述，油菜生长各阶段氮素供应平衡从而提高油菜产量潜力至关重要，适量施用缓释肥使得肥料氮素供应与油菜氮素吸收规律匹配是实现缓释肥高效一次性施用的关键。

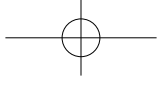
4 结论

本试验中长三角农区缓释肥（N-P₂O₅-K₂O 为 25-7-8）用量 900 kg/hm² 下油菜植株各阶段地上部

干物质积累和氮素养分吸收均表现最优，提高了油菜分枝数和角果数，从而显著提高了油菜产量。缓释肥用量 750 kg/hm² 下油菜植株苗期叶片 SPAD 值降低，干物质积累和氮素吸收受明显抑制，较高施肥水平 1050 和 1200 kg/hm² 时显著促进油菜苗期生长，抽薹后生长减弱，最终抑制角果形成，增加养分损失而降低肥料农学利用率。综上所述，兼顾作物产量与环境影响，长三角农区油菜缓释肥用量控制为 900 kg/hm²，其中氮、磷和钾养分投入量分别为 N 225 kg/hm²、P₂O₅ 63 kg/hm² 和 K₂O 72 kg/hm² 较为适宜。

参考文献：

- [1] 刘成, 冯中朝, 肖唐华, 等. 我国油菜产业发展现状、潜力及对策 [J]. 中国油料作物学报, 2019, 41 (4): 485-489.
- [2] 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.
- [3] 任涛, 鲁剑巍. 中国冬油菜氮素养分管理策略 [J]. 中国农业科学, 2016, 49 (18): 3506-3521.
- [4] 刘波. 冬油菜氮素营养调控技术及相关机制研究 [D]. 武汉: 华中农业大学, 2016.
- [5] 张智, 丛日环, 鲁剑巍. 中国冬油菜产业氮肥减施增效潜力分析 [J]. 植物营养与肥料学报, 2017, 23 (6): 1494-1504.
- [6] 陈锋, 张洁夫, 张维, 等. 高油高产杂交油菜品种瑞油 501 的选育与栽培技术 [J]. 中国种业, 2019 (5): 89-90.
- [7] 樊小林, 刘芳, 廖照源, 等. 我国控释肥料研究的现状和展望 [J]. 植物营养与肥料学报, 2009, 15 (2): 463-473.
- [8] 段秋宇, 刘士山, 吴永成. 普通尿素与控释尿素单施及其配施对直播油菜产量和氮肥利用率的影响 [J]. 湖南农业大学学报 (自然科学版), 2017 (4): 433-437.
- [9] 张亚伟, 刘秋霞, 朱丹丹, 等. 油菜专用控释尿素用量对冬油菜产量和氮素吸收的影响 [J]. 中国农业科学, 2018, 51 (1): 139-148.
- [10] 董云松, 余绍伟, 李根泽, 等. 缓释肥对烟后移栽油菜化肥利用效率和产量的影响 [J]. 西南农业学报, 2016, 29 (10): 2411-2415.
- [11] 何金, 荣维国, 郝睿. “宜施壮”长效缓释型油菜配方肥在六安应用效果分析 [J]. 安徽农业科学, 2019, 47 (14): 160-162.
- [12] 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.
- [13] 鲍士旦. 土壤农化分析 [M]. 北京: 中国农业出版社, 2002: 25-38.
- [14] Tao Y, Qu H, Li Q, et al. Potential to improve N uptake and grain yield in water saving Ground Cover Rice Production System [J]. Field Crops Research, 2014, 168: 101-108.
- [15] 黄燕. SAS 统计分析及应用 [M]. 北京: 机械工业出版社, 2005: 103-125.
- [16] 陈鹏. 油菜长效专用配方肥施用效果研究 [D]. 武汉: 华



- 中农业大学, 2016.
- [17] 陈红琳, 杨泽鹏, 门胜男, 等. 专用缓释肥对紫色土稻田油菜苗期农艺性状及产量的影响 [J]. 四川农业科技, 2020 (8): 50-52.
- [18] 吕伟生, 肖小军, 肖国滨, 等. 缓释肥侧位深施及用量对油菜产量和肥料利用率的影响 [J]. 农业工程学报, 2020, 36 (19): 19-29.
- [19] 范连益, 黄晓勤, 惠荣奎, 等. 缓释型油菜专用配方肥在直播油菜生产上的应用研究 [J]. 农业科学与技术 (英文版), 2015 (4): 745-749.
- [20] 孙娟娟. 氮素对油菜物质积累及生理代谢影响的研究 [D]. 武汉: 华中农业大学, 2006.
- [21] 胡宇倩, 张振华, 熊廷浩, 等. 南方三熟区早熟油菜品种养分需求特性 [J]. 植物营养与肥料学报, 2020, 26 (7): 1339-1348.
- [22] Buttar G S, Thind H S, Aujla M S. Methods of planting and irrigation at various levels of nitrogen affect the seed yield and water use efficiency in transplanted oilseed rape (*Brassica napus* L.) [J]. Agricultural Water Management, 2006, 85: 253-260.
- [23] 邓力超, 薛灿辉, 屠乃美, 等. 包膜型缓释肥及在油菜上的应用 [J]. 作物研究, 2012, 26 (5): 616-619.
- [24] 何杰, 李冰, 王昌全, 等. 不同施氮处理对水稻油菜轮作土壤氮素供应与作物产量的影响 [J]. 中国农业科学, 2017, 50 (15): 2957-2968.
- [25] 张智, 乔艳, 刘东海, 等. 氮肥减施对油菜产量、氮素吸收与利用的影响 [J]. 中国土壤与肥料, 2020 (2): 140-146.
- [26] 赵晴, 杨梦雅, 赵国顺, 等. 缓释肥用量对夏谷光合特性、物质积累分配和产量性状的影响 [J]. 中国农学通报, 2019, 35 (12): 28-33.
- [27] 陶玥玥, 王海候, 施林林, 等. 水生植物堆肥在太湖稻麦体系的适宜用量 [J]. 植物营养与肥料学报, 2018, 24 (3): 712-719.
- [28] 刘宝林, 邹小云, 宋来强, 等. 控释氮肥用量对早熟油菜产量及氮素吸收利用的影响 [J]. 中国油料作物学报, 2018, 40 (4): 558-565.
- [29] 李云春, 李小坤, 鲁剑巍, 等. 控释尿素对水稻产量、养分吸收及氮肥利用率的影响 [J]. 华中农业大学学报, 2014, 33 (3): 46-51.
- [30] 李佩, 韩上, 李敏, 等. 控释氮肥用量对油菜产量和氮肥利用效率的影响 [J]. 安徽农业大学学报, 2020, 47 (4): 612-617.

Appropriate amount of slow-released fertilizer to improve yield formation and nitrogen utilization of rapeseed

TAO Yue-yue, SUN Ling-xiang, ZHANG Jian-dong, WANG Hai-hou, SUN Hua* (Institute of Agricultural Sciences in Taihu Lake District/ Suzhou Comprehensive Experimental Station of China Rape Research System, Suzhou Jiangsu 215155)

Abstract: To determine the effects of slow-released fertilizer application on the growth and yield formation of rapeseed in Yangtze river delta, meanwhile to improve the yield and resource utilization, a field experiment was conducted in Suzhou, Jiangsu province from 2020 to 2021. The slow-released formulated fertilizer was adopted at four different levels of 750, 900, 1050 and 1200 kg/hm² (F750, F900, F1050 and F1200) as well as the treatment without fertilization (CK). The yield, yield components, dry matter accumulation, nitrogen uptake and fertilizer use efficiency were measured. The results showed that the yields of rapeseed with slow-released fertilizer were significantly increased by 1.81~2.67 times, and the yield and fertilizer contribution rate were the highest with the application of 900 kg/hm² ($P<0.05$), while there were no obvious difference among other fertilization treatments. The yield of rapeseed was significantly correlated with the number of branches, siliques and plant height. The number of rapeseed siliques in F900 was significantly higher than those of F1050 and F1200 ($P<0.05$). No significant difference was found on seeds number and thousand-grain weight. The plant height of rapeseed gradually increased with the increase of slow-release fertilizer dosage. The dosage of 750 kg/hm² obviously inhibited the dry matter accumulation and nitrogen uptake in the shoots of rapeseed at the seedling stage, and it was significantly increased by 38.8% at the amount of 1200 kg/hm² ($P<0.05$). The performance of 900 and 1050 kg/hm² were in between 750 and 1200 kg/hm². At flowering, the crop growth and nitrogen uptake at the level of 900 kg/hm² were significantly superior to other treatments, the crop growth rate were significantly decreased by 17.4% in F750 and 14.9% in F1200, respectively. The nitrogen uptake rate of rapeseed showed the same trend with the crop growth rate. At the seedling stage, the contribution rate of fertilizer was obviously improved with the increase of fertilizer application, while the agronomic efficiency was decreased significantly. The concentration of soil available nitrogen was increased firstly and then decreased with the increase of the slow-released fertilizer dosage at final-flowering stage. In conclusion, under the conditions of this study, the amount of 900 kg/hm² slow-released fertilizer which contained N 225 kg/hm², P₂O₅ 63 kg/hm² and K₂O 72 kg/hm² was suitable for balancing the dry matter accumulation and nitrogen uptake between different growth stages for rapeseed, thus to improve the number of branches and siliques of rapeseed and enhance rapeseed yield, meanwhile to improve fertilizer use efficiency.

Key words: slow-released fertilizer; oilseed rape; yield; accumulation of dry matter; nitrogen uptake; fertilizer use efficiency