

施肥管理对油菜种子萌发特性的影响

郭丽璇, 耿国涛, 任 涛*, 李小坤, 丛日环, 鲁剑巍

(华中农业大学资源与环境学院, 农业农村部长江中下游耕地保育重点实验室, 湖北 武汉 430070)

摘 要:直播是油菜轻简化、机械化生产的重要环节, 为了明确生长季施肥管理对油菜种子萌发特性的影响, 通过室内种子萌发试验研究了田间条件下不同施肥处理收获后油菜种子萌发的差异, 结合种子养分含量以及可溶性糖等生理指标初步揭示了其作用机制。研究结果表明, 不同施肥处理显著影响油菜种子养分含量, 其中种子氮、磷含量变化最大。与平衡施肥处理相比, 不施肥各处理种子氮和磷含量分别降低了 5.9% ~ 16.9% 和 0.0% ~ 27.6%。不同施肥处理种子的萌发存在明显差异, 以平衡施肥处理各项指标最高, 与平衡施肥处理相比, 不施氮和不施硼处理显著降低了种子发芽率和正常苗率, 不施磷处理的畸形苗率最高为 27.7%。相关分析表明, 油菜种子的氮、可溶性蛋白含量与种子未成苗率呈显著的负相关, 而种子的发芽率和发芽指数则与种子磷、硼以及可溶性糖含量密切相关, 种子磷含量的降低会增加油菜种子畸形苗率。因此, 直播油菜育种应加强养分管理, 尤其是氮、磷和硼肥的施用, 以改善油菜种子的质量, 提高直播油菜的产量。

关键词: 种子萌发; 种子养分含量; 可溶性糖; 平衡施肥; 油菜

轻简化和机械化是我国油菜生产提高产业竞争力的关键^[1]。直播作为油菜轻简化和机械化的核心, 具有省工省时、操作简单等优点, 是适用于目前我国农村劳动人口短缺现状的重要栽培技术。提高收获密度是直播油菜高产和稳产的重要保证^[2-3], 然而由于受到低温、渍水、干旱、营养缺乏等多种非生物胁迫, 直播冬油菜密度会随着生育时期推进不断降低, 导致最终收获密度往往只有播种密度的 30% ~ 50%^[4]。因此为了提高成苗密度, 实际生产中油菜播种量往往高达 7.5 ~ 9.0 kg · hm⁻², 不仅造成种子的大量浪费, 也限制了油菜轻简化和机械化生产中精量播种技术的发展。

直播油菜出苗率受播期、播种深度、土壤状况、施肥以及种子质量等多种因素的影响^[5-7], 种子质量是其中重要的因素之一。种子发芽前期主要靠自身营养供给其发芽出苗, 研究发现水稻种子的氮含量与发芽指标之间存在相关性, 种子氮含量越高, 发芽率越高^[8]; 对小麦的研究则表明种子中磷储量在早期成长阶段非常重要, 磷含量高的

种子, 其生物量越高^[9]; 大豆种子硼含量过低时会损伤种子胚, 影响种子发芽并易形成畸形苗^[10]。由此可见种子养分含量会对种子的发芽和幼苗质量产生显著影响, 而合理的施肥管理措施则有助于改善种子营养状况, 提高种子发芽和成苗率。因此本研究选取田间试验不同施肥处理收获后的油菜种子, 通过种子室内萌发试验以及种子养分含量和相关生理指标的测定, 研究各养分含量对油菜种子萌发及成苗的影响, 以期对直播油菜种子的培育以及油菜精量化播种种子的选择提供参考。

1 材料与方法

1.1 供试油菜种子

本试验选用 2016 年 10 月 ~ 2017 年 5 月在湖北省武穴市梅川镇开展的不同施肥处理收获的油菜种子。其田间试验共包括 6 个处理, 分别为 (1) 完全不施肥处理 (CK), (2) 不施氮处理 (-N), (3) 不施磷处理 (-P), (4) 不施钾处理 (-K), (5) 不施硼处理 (-B), (6) 氮磷钾硼平衡施肥处理 (NPKB)。各施肥处理除不施相应养分外, 其它养分施用量相同, 分别为 N 150 kg · hm⁻²、P₂O₅ 60 kg · hm⁻²、K₂O 75 kg · hm⁻²、硼砂 9.0 kg · hm⁻²。田间试验供试品种为大地 199, 油菜于 2016 年 10 月 4 日播种, 2017 年 5 月 3 日收获。除肥料施用按方案执行外, 其它田

收稿日期: 2019-05-10; 录用日期: 2019-07-08

基金项目: 国家重点研发计划项目 (2018 YFD0200900); 国家油菜产业技术体系建设专项 (CARS-12)。

作者简介: 郭丽璇 (1994-), 女, 山东平度人, 硕士研究生, 研究方向为作物养分管理。E-mail: glxuan@webmail.hzau.edu.cn。

通讯作者: 任涛, E-mail: rentao@mail.hzau.edu.cn。

间管理措施均采用当地农技部门推荐技术进行田间水分、病虫害防控等。在油菜收获时,每个小区选取一个 $0.6\text{ m} \times 0.6\text{ m}$ 样方,将样方内所有油菜植株取样带回实验室风干后,手动脱壳去杂置于 4°C 的冰箱冷藏备用。

1.2 测定指标与方法

1.2.1 油菜种子萌发

油菜种子室内发芽试验:选取颗粒饱满、大小均匀的油菜种子进行发芽试验。先用 $1\%\text{NaClO}$ 消毒 10 min ,再用去离子水清洗干净。将种子放入铺有纱布的发芽盘中,每个处理整齐摆放 100 粒种子,3次重复。放入 25°C 生化培养箱中湿润培养,每天光照 12 h ,培养 7 d 。记录每天发芽出苗情况,第 7 d 观察记录正常苗数(植株直立,叶子展开无残缺)、畸形苗数(植株弯曲、叶子黄化或叶子残缺),同时每个处理随机挑选 50 株测定其干重。计算油菜种子的发芽势、发芽率、发芽指数、种子活力指数、出苗率、未成苗率、正常苗率和畸形苗率。

1.2.2 油菜种子养分含量

油菜种子在 60°C 烘箱中烘 24 h ,磨碎、过 0.5 mm 筛,用 $\text{H}_2\text{SO}_4\text{-H}_2\text{O}_2$ 联合消煮,连续流动注射分析仪(AA3,德国)测定全氮和全磷(P_2O_5)含量,采用火焰光度法测定全钾(K_2O)含量,用 $1\text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 盐酸浸提-姜黄素比色法测定全硼含量。

1.2.3 油菜种子生理特性

选取吸胀 12 h 的油菜种子,参考李合生^[11]和陶梅等^[12]的方法,分别测定种子的可溶性蛋白、可溶性糖、丙二醛含量以及脱氢酶的活性。可溶性蛋白采用 $50\text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ 磷酸缓冲液(pH 值 7.8)浸提,考马斯亮蓝 G-520 法测定;可溶性糖用沸水浸提,蒽酮比色法测定;丙二醛用 5% 三氯乙酸(TCA)浸提,硫代巴比妥酸溶液法测定;脱氢酶活性用 0.1% 2, 3, 5- 氯化三苯基四氮唑(TTC)溶液和无水乙醇浸提,紫外分光光度计测定吸光度值。

1.2.4 相关参数计算

发芽势($\%$)= 3 d 发芽种子数/种子总数 $\times 100$

发芽率($\%$)= 7 d 发芽种子数/种子总数 $\times 100$

发芽指数(GI)= $\sum(\text{GT}/\text{DT})$,式中,GT为发芽数,DT为相应的发芽天数

种子活力指数= $\text{GI} \times 50$ 株幼苗干重

出苗率($\%$)= 7 d 出苗数/种子总数 $\times 100$

未成苗率($\%$)=(发芽数-出苗数)/发芽数 $\times 100$

正常苗率($\%$)=正常苗数/出苗数 $\times 100$

畸形苗率($\%$)=畸形苗数/出苗数 $\times 100$

试验数据采用 Excel 2013 软件进行整理计算;采用 SPSS 18.0 进行不同处理种子养分含量等指标的单因素方差分析,并在 $P<0.05$ 水平上进行显著性检验;采用 R 软件(version 3.6.1)“corr”包进行多因子指标间的相关性分析。

2 结果与分析

2.1 不同施肥处理对油菜种子养分含量的影响

不同施肥处理油菜种子养分含量差异明显(表1),其中不施肥处理种子的氮、磷、钾和硼含量明显降低,与平衡施肥处理相比,分别减少了 16.9% 、 24.1% 、 4.9% 和 31.1% ,其它缺素处理对油菜种子养分含量的影响略有不同。养分不均衡供应均会影响种子氮含量,其中以不施氮、不施钾和硼处理种子氮含量显著降低;不施氮对种子磷含量影响较小,但不施钾和硼处理种子磷含量则明显低于平衡施肥处理;种子钾含量与其它养分含量趋势略有不同,在本试验条件下不施钾并未对油菜种子钾含量产生明显影响,但不施磷显著降低了种子钾含量;硼肥施用是影响种子硼含量的关键,不施硼处理种子硼含量明显低于其它处理。

表1 不同施肥处理对油菜种子养分含量的影响

处理	氮含量 ($\text{mg} \cdot \text{粒}^{-1}$)	磷含量 ($\text{mg} \cdot \text{粒}^{-1}$)	钾含量 ($\text{mg} \cdot \text{粒}^{-1}$)	硼含量 ($\mu\text{g} \cdot \text{粒}^{-1}$)
CK	$11.3 \pm 0.5\text{ d}$	$2.2 \pm 0.02\text{ c}$	$3.9 \pm 0.3\text{ bc}$	$35.6 \pm 3.7\text{ c}$
-N	$12.1 \pm 0.3\text{ c}$	$2.9 \pm 0.02\text{ a}$	$4.7 \pm 0.2\text{ a}$	$47.0 \pm 2.3\text{ ab}$
-P	$12.8 \pm 0.4\text{ b}$	$2.1 \pm 0.03\text{ d}$	$3.7 \pm 0.2\text{ c}$	$49.6 \pm 2.9\text{ a}$
-K	$12.1 \pm 0.4\text{ c}$	$2.6 \pm 0.01\text{ b}$	$4.3 \pm 0.2\text{ ab}$	$49.3 \pm 3.7\text{ a}$
-B	$12.1 \pm 0.3\text{ c}$	$2.6 \pm 0.06\text{ b}$	$4.5 \pm 0.5\text{ ab}$	$41.4 \pm 4.5\text{ bc}$
NPKB	$13.6 \pm 0.3\text{ a}$	$2.9 \pm 0.03\text{ a}$	$4.1 \pm 0.2\text{ bc}$	$51.7 \pm 4.3\text{ a}$

注:不同小写字母表示不同施肥方式处理间差异显著($P<0.05$)。下同。

2.2 不同施肥处理对油菜种子发芽状况的影响

与平衡施肥处理相比,不施肥处理油菜种子各项发芽指标均明显降低,其它缺素处理油菜种子发芽指标也均低于平衡施肥处理(表2)。不施氮和硼显著降低了种子发芽势、发芽率和发芽指数,其3项指标均为最低。不施磷处理种子发芽势与平衡施肥处理相比差异不显著,但其发芽率和种子活力指数则显著低于平衡施肥处理,尤其是种子活力指数较平衡施肥处理降低了 19.2% 。不施钾处理种子发芽率较高,但其发芽势和活力指数较低,分别比平衡施肥处理减少了 9.0% 和 10.7% 。

表 2 不同施肥处理对油菜种子发芽指标的影响

处理	发芽势 (%)	发芽率 (%)	发芽 指数	活力 指数
CK	74.3 ± 2.5 e	96.3 ± 1.5 b	124.7 ± 3.4 d	18.7 ± 0.3 c
-N	79.6 ± 3.5 cd	97.0 ± 1.0 b	136.0 ± 3.7 c	18.7 ± 0.2 c
-P	87.0 ± 2.6 ab	97.0 ± 1.0 b	153.0 ± 7.9 b	16.4 ± 0.2 e
-K	84.0 ± 3.0 bc	98.0 ± 1.0 ab	152.4 ± 6.6 b	18.1 ± 0.2 d
-B	83.6 ± 3.7 bc	96.6 ± 1.5 b	136.2 ± 2.9 c	19.4 ± 0.3 b
NPKB	92.3 ± 3.0 a	99.6 ± 0.5 a	170.7 ± 2.2 a	20.3 ± 0.1 a

2.3 不同施肥处理对油菜种子出苗状况的影响

表 3 显示的是不同施肥处理对油菜种子出苗指标的影响。与平衡施肥处理相比,不施肥处理油菜种子的出苗率和正常苗率明显降低,未成苗率和畸形苗率显著升高。其它缺素处理油菜种子的出苗率与平衡施肥处理差异较小,从出苗率来看,不施氮和硼处理显著低于平衡施肥处理,其它缺素处理与平衡施肥处理则无显著性差异。在未成苗率上,不施氮处理的未成苗率最高,比平衡施肥处理高 46.6%。与平衡施肥处理相比,不施磷、钾和硼对油菜未成苗率没有产生明显影响,但不施磷和硼处理则显著增加了油菜的畸形苗率。

表 3 不同施肥处理对油菜种子出苗状况的影响

处理	出苗率	未成苗率	正常苗率	畸形苗率
CK	74.6 ± 4.1 c	22.4 ± 5.5 a	75.3 ± 2.6 c	24.5 ± 2.6 a
-N	78.0 ± 4.3 bc	19.5 ± 3.8 a	80.6 ± 2.2 b	19.3 ± 2.2 b
-P	84.0 ± 1.7 ab	13.4 ± 1.1 b	72.2 ± 1.2 c	27.7 ± 1.2 a
-K	81.6 ± 4.0 ab	16.6 ± 3.4 ab	80.8 ± 1.0 b	19.1 ± 1.0 b
-B	80.0 ± 2.6 bc	17.2 ± 1.7 ab	74.9 ± 1.6 c	25.0 ± 1.6 a
NPKB	86.3 ± 0.5 a	13.3 ± 0.5 b	86.4 ± 1.2 a	13.5 ± 1.2 c

2.4 不同施肥处理对油菜种子生理指标的影响

不同施肥处理对油菜种子生理指标的影响如图 1 所示。可溶性糖和可溶性蛋白作为种子中的贮藏物质,对种子萌发和幼苗生长非常重要。与平衡施肥处理相比,不施肥处理种子的可溶性糖和可溶性蛋白含量明显降低。养分缺乏显著降低了种子的可溶性糖含量,其中以不施氮和磷处理油菜种子可溶性糖含量最低;同样不施氮和硼显著降低了种子的可溶性蛋白含量。脱氢酶是种子呼吸时所需的重要酶,丙二醛含量大小表示脂质过氧化程度膜系统损伤程度,与平衡施肥处理相比,不施肥、不施氮和钾显著降低了种子脱氢酶的活性,提高了种子丙二醛的含量;不施磷和硼对种子脱氢酶活性和丙二醛的含量未产生明显影响。

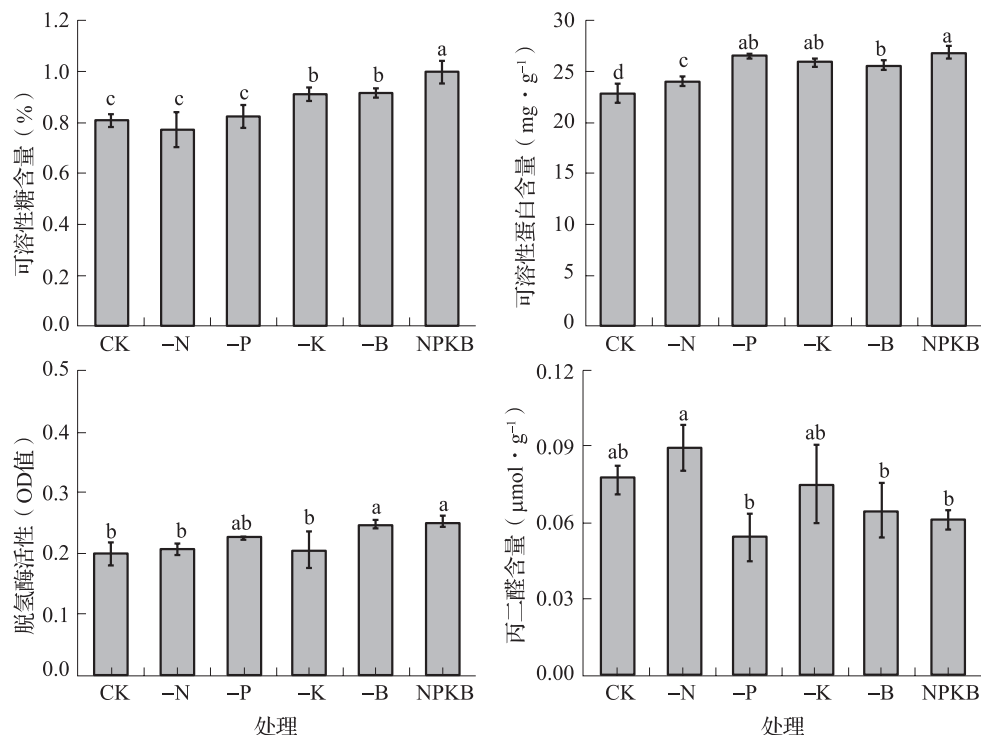


图 1 不同施肥处理对油菜种子生理指标的影响

从不同施肥处理收获的油菜种子发芽出苗指标与种子养分含量和生理指标进行相关性分析结果来看(图2), 种子氮、可溶性蛋白含量与种子未成苗率呈高度负相关; 而种子磷和硼、可溶性糖含量则与种子发芽率和发芽指数密切相关。随着种子磷含量的降低, 油菜种子畸形苗率明显升高。种子硼含量同样与油菜种子未成苗率呈现显著负相关关系, 随着种子硼含量的降低, 种子未成苗率显著提升。在本试验条件下, 种子钾含量和种子发芽出苗以及生理指标并未呈现密切的联系。



图2 油菜种子养分含量、生理指标以及种子萌发指标的相关性分析

注: 相关分析采用 R 软件“corr”包进行分析。两个变量越接近代表这两个变量是高度线性相关; 相反, 两个变量距离越远, 代表它们的相关性弱。线条颜色代表相关的方向, 黑色表示正相关, 灰色为负相关。线条颜色深度代表相关关系的强度。显示两个变量之间的最小相关系数是 0.6。

3 讨论与结论

本研究结果表明, 不施肥和缺素处理对油菜种子氮、磷含量影响较大, 而对钾和硼含量的影响较小, 尤其是不施氮和硼处理油菜种子的氮、磷和硼含量均较低, 这与前人研究一致^[13-15]。在本试验中施肥对种子钾和硼含量影响较小, 一方面与田间试验土壤速效钾含量较高, 施钾效果不显著有关, 另一方面油菜地上部 80% 左右的钾和 75% 左右的硼积累在茎秆和角果皮中, 籽粒中的钾和硼积累量仅占 20% 和 25% 左右^[16-17]。

平衡施肥能够显著提高油菜种子发芽势和出苗率, 降低未成苗率和畸形苗率。与平衡施肥处理相比, 各缺素处理油菜种子的发芽率和正常苗率显

著降低, 畸形苗率显著升高, 这与前人研究大体一致^[18-22]。研究表明种子氮含量与发芽指标之间存在相关性^[23], 当种子氮浓度较高时, 能够更快的吸收水分, 提高种子的发芽率^[8]。磷在种子早期成长阶段非常重要, 种子磷储量对种子生长发育影响很大^[24]。不施磷处理的油菜种子氮含量较高, 但磷含量很低, 致使其发芽指数和正常苗率较低, 畸形苗率显著升高。

油菜种子的发芽、出苗指标及生理指标对不同施肥处理的响应不同。种子内贮藏物质的含量对种子萌发和幼苗生长至关重要, 可溶性糖是种子的主要呼吸底物, 可溶性蛋白可为种子萌发及幼苗生长提供氮素, 因此种子的可溶性蛋白和可溶性糖含量是衡量种子活力大小的重要指标^[25-27]。脱氢酶是种子进行呼吸作用所需的重要酶^[28], 脱氢酶活性越高, 种子活力越高^[29]。种子活力还与细胞膜结构和功能的完整性密切相关^[30], 丙二醛是生物膜脂过氧化作用的主要产物之一, 其含量可以表示生物膜脂过氧化作用的程度^[31], 因此丙二醛含量是反映细胞膜脂过氧化作用强弱和质膜破坏程度的重要指标。试验中不施肥处理油菜种子的各项生理指标显著低于平衡施肥处理, 其相应的发芽出苗指标最低。其它缺素处理中, 不施氮处理油菜种子的可溶性蛋白、可溶性糖含量和脱氢酶活性最低, 并且产生了较高的丙二醛含量, 因此显著降低种子的发芽率。不施磷肥处理油菜种子的发芽势和出苗率较高, 但其产生的畸形苗率最多, 这可能由于前期发芽时呼吸作用消耗了大量的可溶性糖, 不利于后期幼苗生长。不施硼肥处理油菜种子各项生理与平衡施肥处理的差异不大, 但油菜种子的发芽出苗指标都较低, 且产生的畸形率较高, 从养分含量来看其硼含量很低, 这可能与缺硼对生殖器官产生损害有关^[32]。由此可见平衡施肥能够提高油菜种子各项发芽出苗指标及生理指标, 尤其是油菜种子的可溶性蛋白和可溶性糖含量, 进而提高种子发芽势, 降低畸形苗率。油菜种子的氮、磷、可溶性糖和可溶性蛋白含量与发芽出苗指标显著相关, 可以用来评价油菜种子的萌发状况。

综合本试验的结果来看, 油菜种植季节的施肥措施显著影响种子的质量, 进而影响种子的萌发以及出苗状况。平衡施肥处理收获的油菜种子养分、可溶性蛋白和可溶性糖含量较高, 种子的发芽势、出苗率和正常苗率高, 能够快速整齐的发

苗。与平衡施肥相比,不施氮肥或不施硼肥显著降低了油菜种子的氮、磷含量,其发芽势和正常苗率显著降低;不施磷肥降低了种子磷和可溶性蛋白含量,产生的畸形苗率最高。因此在培育直播油菜种子时应注意平衡施肥,尤其是氮肥、磷肥和硼肥。

参考文献:

- [1] 王汉中,殷艳. 我国油料产业形势分析与对策建议[J]. 中国油料作物学报, 2014, 36(3): 414-421.
- [2] 王寅,汪洋,鲁剑巍,等. 直播和移栽冬油菜生长和产量形成对氮磷钾肥的响应差异[J]. 植物营养与肥料学报, 2016, 22(1): 132-142.
- [3] Zhang S, Liao X, Zhang C, et al. Influences of plant density on the seed yield and oil content of winter oilseed rape (*Brassica napus* L.) [J]. Industrial Crops and Products, 2012, 40(1): 27-32.
- [4] Liu Q, Ren T, Zhang Y, et al. Yield loss of oilseed rape (*Brassica napus* L.) under nitrogen deficiency is associated with under-regulation of plant population density [J]. European Journal of Agronomy, 2019, 103: 80-89.
- [5] 向伟,吴明亮,官春云,等. 机播深度对油菜生长特性、收获性状的影响[J]. 中国农学通报, 2015, 31(21): 102-106.
- [6] 韩梅. 播期、密度对直播油菜生长发育、产量及品质的影响[D]. 重庆: 西南大学, 2016.
- [7] Jia Y Q, Masbou V, Aussenac T, et al. Effects of nitrogen fertilization and maturation conditions on protein aggregates and on the breadmaking quality of soissons, a common wheat cultivar [J]. Cereal Chemistry, 1996, 73(1): 123-130.
- [8] Yoshitaka H, Kazunobu T. Seed nitrogen accelerates the rates of germination, emergence, and establishment of rice plants [J]. Soil Science and Plant Nutrition, 1998, 44(3): 359-366.
- [9] Zhu Y G, Smith S E. Seed phosphorus (P) content affects growth, and P uptake of wheat plants and their association with arbuscular mycorrhizal (AM) fungi [J]. Plant and Soil, 2001, 231(1): 105-112.
- [10] Rerkasem B, Bell R W, Lodkaew S, et al. Relationship of seed boron concentration to germination and growth of soybean (*Glycine max*) [J]. Nutrient Cycling in Agroecosystems, 1997, 48(3): 217-223.
- [11] 李合生. 植物生理生化实验原理和技术 [M]. 北京: 高等教育出版社, 2000.
- [12] 陶梅, 辛萍萍. 用种胚浸提法测定种子脱氢酶活性的探讨[J]. 种子科技, 1993(5): 28.
- [13] 韩上, 武际, 吴新民, 等. 安徽省直播冬油菜氮磷钾硼肥施用效果研究[J]. 中国土壤与肥料, 2015, (1): 38-43.
- [14] 邹娟. 冬油菜施肥效果及土壤养分丰缺指标研究[D]. 武汉: 华中农业大学, 2010.
- [15] 周可金, 吴社兰, 郭高. 施硼对双低油菜皖油 10 号氮磷钾硼的吸收及分配的影响[J]. 中国油料, 1997, (3): 55-58.
- [16] 鲁剑巍, 陈防, 张竹青, 等. 磷钾肥配合施用对油菜产量及养分积累的影响[J]. 中国油料作物学报, 2003, 25(2): 52-55.
- [17] 胡敏, 朱芸, 鲁剑巍, 等. 硼肥与菜籽同播对油菜出苗、产量及硼肥表观利用率的影响[J]. 中国油料作物学报, 2017, 39(4): 509-514.
- [18] 高朋. 施肥对禾本科牧草种子产量及其产量构成因子和种子活力的影响[D]. 兰州: 甘肃农业大学, 2009.
- [19] 宋勤璟, 贾永红, 刘孝成, 等. 施磷量对春小麦产量及种子活力的影响[J]. 中国农学通报, 2017, 33(4): 8-14.
- [20] 迪里夏提·尔肯, 贾永红, 冯魁, 等. 氮、磷肥互作对春小麦种子活力的影响[J]. 种子, 2017, 36(10): 72-75.
- [21] 张银敏. 行距与施肥对紫花苜蓿和蒙农红豆草种子产量及质量的影响[D]. 北京: 中国农业科学院, 2010.
- [22] 耿智广, 韩建国, 王显国, 等. 施钾和磷钾肥混施对紫花苜蓿种子质量的影响[J]. 中国草地学报, 2009, 31(3): 72-76.
- [23] Frenne P D, Kolb A, Graae B J, et al. A latitudinal gradient in seed nutrients of the forest herb *Anemone nemorosa* [J]. Plant Biology, 2011, 13(3): 493-501.
- [24] Peirce C A E, Mcbeath T M, Fernández V, et al. Wheat leaf properties affecting the absorption and subsequent translocation of foliar-applied phosphoric acid fertiliser [J]. Plant and Soil, 2014, 384(1-2): 37-51.
- [25] 成广雷, 张海娇, 赵久然, 等. 临界胁迫贮藏条件下不同基因型玉米种子活力及生理变化[J]. 中国农业科学, 2015, 48(1): 33-42.
- [26] 孙奎香, 于道功, 张玉凤, 等. 水分胁迫对花生种子萌发过程中贮藏物质降解的影响[J]. 中国农学通报, 2012, 28(12): 60-65.
- [27] Duhyun K, Han S H, Song J H. Evaluation of the inorganic compound leakage and carbohydrates as indicator of physiological potential of *Ulmus parvifolia* seeds [J]. New Forests, 2011, 41(1): 3-11.
- [28] 杨剑平, 唐玉林, 王文平. 小麦种子衰老的生理生化分析[J]. 种子, 1995, (2): 13-14.
- [29] 薛刚, 张文明, 姚大年. 小麦种子活力及其与脱氢酶活性的相关性研究[J]. 安徽农业科学, 2009, 37(9): 3905-3908.
- [30] 陶嘉龄, 郑光华. 种子活力 [M]. 北京: 科学出版社, 1991. 164-169.
- [31] Bernallugo I, Leopold A C. Changes in soluble carbohydrates during seed storage [J]. Plant Physiology, 1992, 98(3): 1207-1210.
- [32] 褚天铎, 陈家驹. 油菜缺硼花而不实原因的探讨[J]. 植物营养与肥料学报, 1996, 3(1): 23-31.

Effect of fertilization management on germination characteristics of winter oilseed rape (*Brassica napus* L.)

GUO Li-xuan, GENG Guo-tao, REN Tao*, LI Xiao-kun, CONG Ri-huan, LU Jian-wei [College of Resources and Environment, Huazhong Agricultural University, Key Laboratory of Arable Land Conservation (Middle and Lower Reaches of Yangtse River), Ministry of Agriculture and Rural Affairs, Wuhan Hubei 430070]

Abstract: Direct-sown is one of important processes of mechanized and simplified oilseed rape production. To evaluate the influence of fertilization managements during the growing season on the germination characteristics of winter oilseed rape, the germination experiment, as well as nutrient content, physiological traits (e.g.soluble sugar content) of seeds harvested from different fertilization treatments were conducted. The results showed that the seed nutrient content varied significantly among different fertilization treatments, with greatest variations in seed nitrogen (N) and phosphorus (P) content. In comparison with balanced fertilization treatment, the seed N and P content of the unbalanced fertilization treatments decreased remarkably, ranging from 5.9% ~ 16.9% and 0.0% ~ 27.6%, respectively. Additionally, balanced fertilization significantly enhanced seed germination. Compared with the balanced fertilization treatment, the seeds of the no-N and no-boreen (B) fertilization treatment revealed lower germinational potential and normal seedling ratio; and the abnormal seedling ratio of the no-P fertilization treatment was the highest, which was 27.7%. Correlation analysis suggested that seed N and soluble protein content was negatively correlated with the poor seedling ratio; the seed germination ratio and germination index were closely related with seed P, B and soluble sugar content. Moreover, the ratio of abnormal seedling was negatively related with the seed P content. Consequently, it is essential to pay more attention to balanced nutrient management during breeding, especially for N, P and B fertilization, to improve seed quality, and further enhance seed yield of direct-sown rapeseed.

Key words: seed germination; seed nutrient content; soluble sugar; balanced fertilization; oilseed rape