植物营养与肥料学报 2013,19(3):597-607
Journal of Plant Nutrition and Fertilizer doi:10.11674/zwyf.2013.0309

栽培模式对直播油菜生长、产量和养分吸收利用的影响

王 寅[1],李雅颖[1],鲁剑巍[1]*,李小坤[1],徐正伟[1],邹家龙[2],姚忠清[3]
(1 华中农业大学资源与环境学院,湖北武汉 430070;2 荆州区土壤肥料工作站,湖北荆州 434020;
3 赤壁市土壤肥料工作站,湖北赤壁 437300)

摘要:发展直播油菜对增加我国油菜种植面积和总产有重要意义,但栽培措施尤其是施肥技术的滞后极大地影响了油菜的产量及施肥效果。2009/2010 年度在湖北省油菜主产区设置田间试验,研究栽培模式对直播油菜生长、产量、经济效益和养分吸收利用的影响,探讨适合当前生产的高产高效栽培技术。结果表明,各优化模式比农民习惯栽培模式均有增产增收效果,其中在 30×10^4 plant/hm^2 种植密度、秸秆还田和加强病虫草害防治的基础上进行优化施肥(氮、磷、钾肥用量分别为 N 195 kg/hm^2、P_2O_5 90 kg/hm^2、K_2O 90 kg/hm^2,硼砂用量 15 kg/hm^2,氮肥和钾肥分次施用)的模式Ⅲ表现最好,比农民习惯施肥增产 35.9 %、增收 1632 Yuan/hm^2,地上部干物质量和养分累积也均较高,氮、钾肥偏生产力分别为 N 13.7 kg/kg 和 K_2O 29.8 kg/kg,实现高产高效目标。说明当前直播油菜的栽培模式应结合其生长发育进程和养分吸收规律,适当密植以增库促源,加强植保防治病虫草害,更重要的是积极推行平衡施肥和有机、无机配施,并合理安排施肥时期及比例。

关键词:直播油菜;栽培模式;合理施肥;产量;养分吸收;肥料效率
中图分类号:S565.4.01;S048 **文献标识码**:A **文章编号**:1008-505X(2013)03-0597-11

Effects of cultivation pattern on growth, seed yield, nutrient uptake and utilization of direct-sowing oilseed rape (*Brassica napus* L.)

WANG Yin[1], LI Ya-ying[1], LU Jian-wei[1]*, LI Xiao-kun[1], XU Zheng-wei[1], ZOU Jia-long[2], YAO Zhong-qing[3]
(*1 College of Resources and Environment, Huazhong Agricultural University, Wuhan, Hubei 430070, China;*
2 Jingzhou District Soil and Fertilizer Work Station, Jingzhou, Hubei 434020, China;
3 Chibi City Soil and Fertilizer Work Station, Chibi, Hubei 437300, China)

Abstract: The direct-sowing cultivation has played an important role in increasing planting areas and total production of oilseed rape in China. However, the lagging cultivation and fertilization techniques restrict greatly rapeseed yield and fertilizer use efficiency. Two field experiments were therefore conducted in the main oilseed rape planting areas of Hubei province during 2009/2010. The objective of this study is to investigate the effects of different cultivation patterns on growth, seed yield, economic benefit, nutrient uptake and fertilizer use efficiency of direct-sowing oilseed rape, and thereby to summarize the key techniques of high yield and high efficiency cultivation under current production conditions. The results show that the optimized cultivation pattern (OCP) has higher rapeseed yield than that of the farmer's practice pattern (FFP), and the best performance is observed in the OCP Ⅲ treatment. With this cultivation pattern, reasonable fertilization measures (N 195 kg/ha, P_2O_5 90 kg/ha, K_2O 90 kg/ha and Broax 15 kg/ha were applied, and N and K fertilizers were applied in splits) are implemented on the basis of increasing appropriately plant density (30×10^4 plant/ha), using straw returning and enhancing

收稿日期:2012-10-30 **接收日期**:2013-02-01
基金项目:"十一五"国家科技支撑计划重点项目(2010BAD01B05);国家油菜产业技术体系建设项目(CARS-13);中央高校基本科研业务费专项(2011PY156);国际植物营养研究所合作项目(Hubei-35)资助。
作者简介:王寅(1986—),男,河南南阳人,博士研究生,主要从事现代施肥技术研究。E-mail:wy1986410@webmail.hzau.edu.cn
*通信作者 E-mail:lunm@mail.hzau.edu.cn

plant protection to pest, disease and weed. The rapeseed yield and net benefit are increased by 35.9 % and 1632 Yuan/ha in the OCP Ⅲ treatment compared with the FFP treatment. In addition, the aboveground dry matter and nutrient accumulation amounts in the OCP Ⅲ are also significantly improved, and the mean N and K fertilizer efficiencies (PFP) are N 13.7 kg/kg and K_2O 29.8 kg/kg, respectively. Hence, the OCP Ⅲ is considered as a better practice to achieve high yield and high efficiency of direct-sowing oilseed rape in present research. The results from this study indicate that cultivation management should be accord with the growth process and nutrient uptake regulation of direct-sowing oilseed rape. With this principle, we should increase appropriately planting density to enlarge source and sink of oilseed rape, whilst enhance plant protection to control pest, disease and weed. And more importantly, optimal fertilization measures should be used, including balanced fertilization, applying inorganic fertilizer combined with organic manure, and reasonably arranged fertilization time and ratio.

Key words: direct-sowing oilseed rape; cultivation pattern; reasonable fertilization; seed yield; nutrient uptake; fertilizer efficiency

油菜是我国第一大油料作物,菜籽油占国产油料作物产油量的57.2 %,然而当前我国油料作物自给率不足40 %,过高的食用油对外依存度严重影响我国农产品贸易和国民食物安全[1-2],因此保证和提高油菜这一优势油料作物的产量也就成为当前我国油菜科研工作者的重要目标。经过60年不断发展,我国油菜总产和单产分别由1950年的68×10^4 t和480 kg/hm^{2}大幅提升至当前的1343×10^4 t和1827 kg/hm^2(2011年)[3-4],取得了巨大进步。但随着产量水平提高,油菜种植中化肥的用量也不断增加,而有机肥施用比例却越来越低,秸秆还田也较少[5]。再加上现阶段农民的管理和施肥仍普遍粗放且随意,导致肥料利用率偏低而养分大量流失,不仅造成资源严重浪费,还大大提高了河湖水体富营养化、温室气体排放增加、土壤酸化等环境问题的发生风险[6-8]。另外,施肥过多尤其是氮肥过量也极易导致油菜贪青晚熟和病虫害等不利情况的发生[9],影响菜籽产量及品质,而高成本投入也降低了农民的经济效益和种植积极性。

在我国人多地少、资源紧张的农业生产现状下,如何解决作物持续高产和化肥资源投入的平衡问题,发展作物高产高效的技术途径,一直是农业科学工作者们关注和研究的热点。目前我国水稻、小麦、玉米等粮食作物高产高效栽培技术与施肥措施的研究已取得了一些进展和成果[10-14],对相关作物的生产和发展产生了极大促进作用,而有关油菜的研究却鲜有报道。当前长江流域地区直播油菜的发展和推广很快,对增加我国油菜种植面积和提高总产有重要意义[15],但相关栽培措施尤其是施肥技术的滞后却极大地影响了籽粒产量及施肥效果,因此急需开展油菜高产高效栽培模式方面的研究。本研究通过比较和分析不同栽培模式下直播油菜的生长状况、产量及其形成特点、经济效益、养分吸收及肥料利用效率,探索适宜当前生产条件的直播油菜高产高效关键栽培技术和综合管理模式,以期为我国油菜产业的发展提供依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料

田间试验于2009/2010年度分别布置在湖北省油菜主产区的鄂南赤壁市(29°51′N、113°37′E)和江汉平原荆州市(30°25′N、112°03′E),试验田块的土壤基本性状见表1。赤壁试验点采用中油杂2号,于2009年9月28日施基肥,29日播种,10月25日间苗(4叶期),27日施苗肥,12月17日施越冬肥,2010年1月26日施薹肥,5月14日收获。荆州试验点采用华油杂9号,于2009年9月24日施基肥,25日播种,10月23日间苗(4叶期),24日施苗肥,12月24日施越冬肥,2010年2月8日施薹肥,5月16日收获。两试验点的前茬作物均为水稻。

1.2 试验设计

试验设5个处理,包括对照(CK)、农民习惯栽培模式(FFP)及3种优化栽培模式[Optimized cultivation pattern (OCP)]。农民习惯栽培模式是根据赤壁、荆州两地区的实际调查情况结合湖北省农民普遍种植方式和习惯施肥措施[5]确定,各优化栽培模式则是在农民习惯栽培模式基础上,结合笔者所在研究团队近年来经大量田间试验和生产实践所总结出的经验及技术而进行制定的。各处理具体方案如下:

1) 对照(CK,习惯种植+不施肥) 生育期内不施用任何肥料。 油菜播种量为1.5 kg/hm^2,留苗密

表 1　试验田块的土壤基本性状

Table 1　Soil nutrient contents in experimental plots

试验点 Site	土壤质地 Soil texture	pH	有机质 Organic matter (g/kg)	全氮 Total N (g/kg)	有效磷 Available P (mg/kg)	速效钾 Available K (mg/kg)	有效硼 Available B (mg/kg)
赤壁 Chibi	壤土 Loam	7.7	33.2	1.0	13.7	66.9	0.28
荆州 Jingzhou	壤土 Loam	6.1	23.8	0.8	8.7	75.2	0.29

度 22.5 × 10^4 plant/hm^2;秋、春各一次防病打药。该处理可表征试验田块的基础地力状况。

2) 农民习惯栽培模式(FFP,习惯种植 + 习惯施肥) 生育期内化肥施用量为 N 180 kg/hm^2、P_2O_5 38 kg/hm^2、K_2O 45 kg/hm^2 和硼砂 7.5 kg/hm^2;磷、钾和硼肥基施,氮肥按基肥∶越冬肥 =7∶3 的比例施用,施肥方式为撒施。油菜播种量为 1.5 kg/hm^2,留苗密度 22.5 × 10^4 plant/hm^2;秋、春各一次防病打药。该处理可反映农民习惯栽培模式的油菜生长状况和产量效果。

3) 优化栽培模式Ⅰ(OCPⅠ,习惯种植 + 优化施肥Ⅰ) 在农民习惯施肥量基础上适当提高磷、钾和硼肥用量;磷、硼肥基施,氮肥按基肥∶苗肥∶越冬肥∶薹肥 =4∶3∶1.5∶1.5 的比例施用,钾肥按基肥∶越冬肥∶薹肥 =6∶2∶2 的比例施用;基肥条施,追肥撒施,越冬肥结合松土施用。油菜播种量为 1.5 kg/hm^2,苗密度 22.5 × 10^4 plant /hm^2;秋、春各一次防病打药。本处理目的是在农民习惯种植模式基础上通过对施肥措施进行优化而达到一定的增产效果。

4) 优化栽培模式Ⅱ(OCP Ⅱ,优化种植 + 优化施肥Ⅱ) 该模式加大了氮、磷和钾肥施用量,并增施大量菜籽饼肥;磷、钾、硼肥及饼肥基施,氮肥按基肥∶越冬肥∶薹肥 =6∶2∶2 的比例施用;基肥条施,追肥撒施,越冬肥结合松土施用。油菜播种量为 2 kg/hm^2,留苗密度 30 × 10^4 plant /hm^2;注重苗期除草(一次),关键生育期及时防病打药(三次),适时清沟(一次)。本处理的目的是通过对种植措施进行优化,并供给大量化肥和优质有机肥以最大限度地提高油菜产量水平,挖掘产量潜力而获得高产。

5) 优化栽培模式Ⅲ(OCP Ⅲ,优化种植 + 优化施肥Ⅲ) 在 OCP Ⅱ基础上适当降低氮、钾肥用量,实施秸秆还田;磷、硼肥全部基施,氮肥按基肥∶苗肥∶越冬肥∶薹肥 =4∶3∶1.5∶1.5 的比例施用,钾肥按基肥∶越冬肥∶薹肥 =6∶2∶2 的比例施用;基肥条施,追肥撒施,越冬肥结合松土施用。油菜播种量为 2 kg/hm^2,留苗密度 30 × 10^4 plant/hm^2;注重苗期除草(一次),关键生育期及时防病打药(三次),适时清沟(一次)。本处理的目的是在优化种植基础上,通过优化施肥措施减少化肥用量而保证较高产量和经济效益,同时提高氮、钾肥利用效率,以实现高产高效。

试验小区面积为 20 m^2,设 3 次重复,随机区组排列。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 %),菜籽饼肥(2008/2009 年度菜籽饼,其有机碳含量 35.4 %、全氮 5.46 %、全磷 0.97 %、全钾 1.18 %) 和秸秆(2009 年水稻秸秆,其有机碳含量 41.9 %、全氮 0.86 %、全磷 0.14 %、全钾 2.09 %)。化肥和菜籽饼肥需要购买,而水稻秸秆来自于农民自家稻田不需购买。各优化模式与农民习惯模式相比,除增加了肥料或种子的投入成本,施肥、打药或清沟的次数较多导致劳动力成本也有所增加。根据实地调查油菜种植过程中各环节的每公顷用工量一般为:基肥用工 2 个,追肥和清沟用工 1 个,打药(除草剂或农药) 一次用工 0.5 个,增施菜籽饼用工 1 个,实施秸秆还田用工 2 个。各处理的具体施肥量、施用时期及比例见表 2。

1.3　样品采集与分析

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—20 cm 耕作层土壤,实验室风干磨细后分别过 0.90 mm 和 0.15 mm 筛供理化分析用。土壤基本理化性质按常规法测定[16]:土壤 pH 用 pH 计测,水土比为 2.5∶1;有机质用重铬酸钾容量法;全氮用半微量开氏定氮法;有效磷用 0.5 mol/L $NaHCO_3$ 浸提—钼锑抗比色法;速效钾用 1 mol/L NH_4OAc 浸提—火焰光度法;有效硼用热水浸提—姜黄素比色法测定。

油菜成熟期收获前在所有试验小区取植株样,每个小区取 0.5 m^2 样方内全部油菜的地上部植株,网袋悬挂风干脱粒后分别统计茎杆、角壳和籽粒的生物量,各部分样品于 60℃烘干后磨细过 0.45 mm 筛用于养分测定。植株样品养分的测定采用 H_2SO_4

$-H_2O_2$ 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[16]。

1.4 田间调查及实产统计

2009 年 11 月下旬和 2010 年 5 月中旬分别对两试验点直播油菜的苗期和成熟期生长状况进行田间调查。苗期调查内容包括株高、根颈粗、叶片数、最大叶长和宽，并测定 SPAD 值；成熟期调查内容包括株高，根颈粗，一、二级分枝数，单株角果数，每角粒数和千粒重[17]。每小区选取 20 株有代表性的植株，各指标取平均值作为该小区调查结果。

成熟期调查结束后，分别对两试验点所有小区进行取样并收割，经后熟过程单收单打测实产（计入取样考种部分的产量），地上部生物量根据取样结果按茎杆、角壳与籽粒的比例计算得出。

1.5 经济效益计算和数据统计分析

2009/2010 年度湖北省油菜籽市场收购价格为 4.1 Yuan/kg，油菜种籽 60 Yuan/kg，氮肥（N）4.0 Yuan/kg，磷肥（P_2O_5）4.17 Yuan/kg，钾肥（K_2O）5.33 Yuan/kg，硼砂 16 Yuan/kg，菜籽饼肥 1.2 Yuan/kg，劳动力的日工资为 100 Yuan。根据目前实际情况，稻草不计算成本。本研究涉及的经济效益数据均根据以上价格进行计算。

所有试验数据均采用 Excel 软件进行处理，SPSS17.0 进行统计分析，LSD 法进行差异显著性检验，$P<0.05$。

2 结果与分析

2.1 直播油菜苗期和成熟期的生长状况

施肥明显促进了直播油菜苗期和成熟期的生长（表 3）。苗期以 OCP Ⅰ和 OCP Ⅲ的油菜生长表现较好，表明相同种植条件下减少氮肥基施而增施苗肥可有效促进直播油菜的植株生长和根颈增粗，增加叶片数及叶面积，提高叶绿素含量，保障苗期健壮。成熟期不同处理直播油菜的生长状况有所变化，其中以 OCP Ⅱ的各项生育指标的增幅最为明显，但与相同种植条件而施肥较少的 OCP Ⅲ相比无显著差异。成熟期 OCP Ⅱ和 OCP Ⅲ的直播油菜的株高和根颈粗高于 FFP，一、二级分枝数接近 FFP 和 OCP Ⅰ，表明适当密植条件下通过优化施肥措施能够保障直播油菜个体的生长发育和形态构建，单株长势可保持较高的水平。

2.2 直播油菜的籽粒产量及其构成因素

表 4 显示，两试验点直播油菜各施肥处理与对照相比（平均 686 kg/hm^2）的增产幅度均超过 140%，其中以 OCP Ⅱ处理的产量（平均 2764 kg/hm^2）最高且显著高于 OCP Ⅰ（平均 2264 kg/hm^2）和 FFP（平均 1968 kg/hm^2），与 OCP Ⅲ（平均 2675 kg/hm^2）差异不明显。OCP Ⅱ和 OCP Ⅲ处理较好的施肥措施保证了高密条件下直播油菜的单株角果数、每角粒数和千粒重有较好的表现，从而在植株密度增加的情况下有效提高了籽粒产量。OCP Ⅲ在化肥施用量降低的情况下其产量构成因素与 OCP Ⅱ相比并无明显差异，最终也获得较高产量，表明该综合模式中氮、钾肥多次施用的运筹方法和实施秸秆还田的措施有利于直播油菜成熟期的产量形成。

作物产量的提高一般通过两种途径，一是在生物产量一定的情况下提高收获指数，二是在收获指数一定的情况下提高生物产量[18]。图 1 显示，两试验点直播油菜成熟期的地上部干物质量和收获指数的表现趋势基本一致。各施肥处理的油菜地上部干物质量与对照相比均有显著增加，同时收获指数也有明显提高，其中 OCP Ⅱ和 OCP Ⅲ处理的表现较好，更利于获得高产。

2.3 直播油菜的经济效益

与对照相比，各施肥处理大幅提高了直播油菜的经济效益（表 5）。各优化栽培模式的产值明显高于农民习惯栽培模式，其中 OCP Ⅱ处理在两试验点的增幅均最高，平均为 11332 Yuan/hm^2。不同栽培模式的成本有较大差别，FFP 投入较少因而成本相对较低，而各优化模式由于播种量、施肥量或追肥次数的增加导致总成本相应提高。扣除投入成本后 OCP Ⅲ处理的利润最高，平均达到 5351 Yuan/hm^2，比 FFP 增加 1632 Yuan/hm^2，而且其化肥用量相对较少并有效利用了农户自家稻田遗留的大量秸秆，避免焚烧带来的环境污染和养分损失，综合效益也最好。

2.4 直播油菜成熟期地上部氮、磷、钾累积量和养分收获指数

不同处理的直播油菜地上部氮、磷、钾养分累积量存在明显差异（图 2）。与地上部干物质量的表现类似，施肥显著提高了油菜植株对养分的吸收和累积。与 FFP 相比，OCPⅡ和 OCPⅢ处理的氮、磷、钾养分累积量的增加均达到了显著水平。两个试验点油菜地上部的氮、钾养分累积量均以 OCPⅡ最高，平均分别为 N 126.2 kg/hm^2 和 K 153.4 kg/hm^2，而磷的累积量则以 OCPⅢ最高，平均为 P 18.7 kg/hm^2。

氮和磷在油菜籽粒中的累积较多，因此其养分收获指数一般较高，而钾则相反。表 6 显示，不同栽

表2 试验处理的肥料施用情况(kg/hm²)

Table 2 Amounts of fertilizers of different treatments

处理 Treatment	总施肥量 Total fertilizer amount						基肥 Basal fertilizer		苗肥 Seedling fertilizer	越冬肥 Over-wintering fertilizer		薹肥 Bolting fertilizer	
	氮 N	磷 P_2O_5	钾 K_2O	硼砂 Borax	菜籽饼 Rapeseed meal	水稻秸秆 Rice straw	氮 N	钾 K_2O	氮 N	氮 N	钾 K_2O	氮 N	钾 K_2O
CK	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
FFP	180	38	45	7.5	—	—	126	45	—	54	—	—	—
OCP Ⅰ	180	45	60	15	—	—	72	36	54	27	12	27	12
OCP Ⅱ	210	90	150	15	750	—	126	150	—	42	—	42	—
OCP Ⅲ	195	90	90	15	—	2250	78	54	59	29	18	29	18

注(Note)：所有试验处理的磷肥、硼砂、菜籽饼和水稻秸秆全部基施 Phosphorous fertilizer, borax, rapeseed meal and rice straw of all treatments were applied as basal fertilizers.

表3 直播油菜苗期和成熟期的生长状况

Table 3 The growth status of direct-sowing oilseed rape at the seedling stage and the maturity stage

地点 Site	处理 Treatment	苗期 Seedling stage					成熟期 Maturity stage			
		株高 Plant height (cm)	根颈粗(cm) Rootstock diameter	叶片数 No. of leaves (No.)	最大叶长和宽(cm) Max. length and width of leaves	SPAD	株高 Plant height (cm)	根颈粗(cm) Rootstock diameter	一级分枝数 1st branch (No.)	二级分枝数 2nd branch (No.)
赤壁 Chibi	CK	17.0 c	0.58 c	4.9 b	7.4 c × 4.0 b	42.7 c	101.6 c	1.12 b	3.4 c	0.4 b
	FFP	26.4 b	0.98 b	7.9 a	15.0 b × 10.8 a	47.0 b	157.6 b	1.47 a	7.6 ab	2.0 a
	OCP Ⅰ	31.0 a	1.21 a	8.4 a	18.1 a × 11.8 a	49.7 a	167.2 a	1.55 a	8.0 a	2.4 a
	OCP Ⅱ	27.0 b	0.99 ab	7.8 a	15.6 b × 10.3 a	48.0 ab	164.8 ab	1.53 a	7.2 ab	2.4 a
	OCP Ⅲ	30.6 a	1.16 ab	8.0 a	17.0 ab × 10.9 a	49.2 a	164.6 ab	1.54 a	7.0 b	2.4 a
荆州 Jingzhou	CK	18.5 c	0.77 b	5.2 b	10.1 b × 6.1 b	44.5 b	115.2 c	0.98 b	4.2 c	0.8 c
	FFP	29.8 ab	1.10 a	7.1 a	14.6 a × 8.7 a	46.9 b	163.0 b	1.63 a	8.8 ab	2.5 ab
	OCP Ⅰ	32.3 a	1.16 a	8.4 a	15.8 a × 8.6 a	50.7 a	171.0 a	1.68 a	10.0 a	3.0 a
	OCP Ⅱ	28.9 b	1.11 a	7.7 a	14.7 a × 8.3 a	49.7 a	168.5 ab	1.67 a	8.5 b	2.3 b
	OCP Ⅲ	31.4 ab	1.15 a	8.3 a	15.1 a × 8.7 a	50.4 a	167.3 ab	1.66 a	8.2 b	2.2 b

注(Note)：同列数据后不同字母表示处理间差异达5%显著水平 Values followed by different letters in a column are significant among treatments at the 5% level.

表4 直播油菜的籽粒产量及其构成因素

Table 4 The seed yield and yield components of direct-sowing oilseed rape

地点 Site	处理 Treatment	密度 Plant density ($\times10^4$/hm^2)	单株角果数 Pods per plant (No.)	每角粒数 Seeds per pod (No.)	千粒重 1000-seed weight (g)	产量 Seed yield (kg/hm^2)
赤壁 Chibi	CK	22.5	65.4 c	16.0 b	3.12 b	525 c
	FFP	22.5	162.2 ab	19.2 a	3.26 a	1850 b
	OCP Ⅰ	22.5	170.4 a	20.6 a	3.35 a	2000 b
	OCP Ⅱ	30.0	161.4 ab	20.4 a	3.33 a	2667 a
	OCP Ⅲ	30.0	158.4 b	20.8 a	3.36 a	2617 a
荆州 Jingzhou	CK	22.5	77.3 c	17.5 b	3.02 b	847 d
	FFP	22.5	172.7 ab	19.5 a	3.17 a	2086 c
	OCP Ⅰ	22.5	182.7 a	21.0 a	3.24 a	2527 b
	OCP Ⅱ	30.0	168.7 b	20.8 a	3.22 a	2861 a
	OCP Ⅲ	30.0	164.7 b	21.0 a	3.27 a	2733 ab

注(Note):同列数据后不同字母表示处理间差异达5%显著水平 Values followed by different letters in a column are significant among treatments at the 5% level.

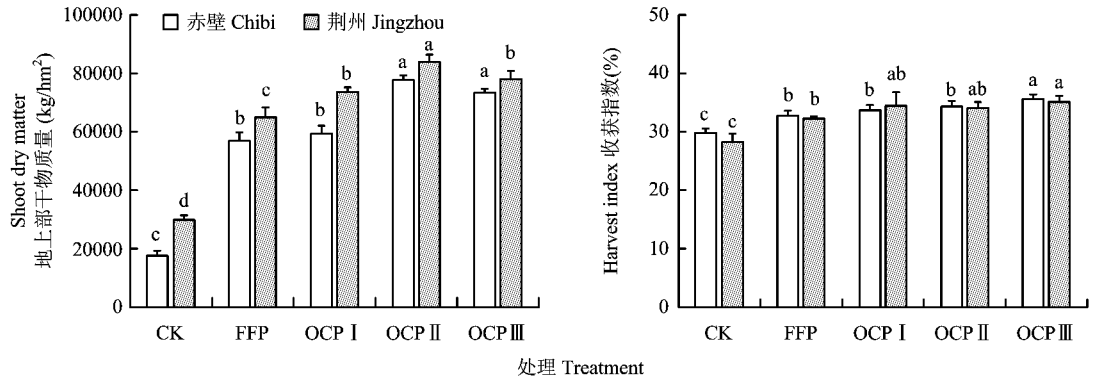

图1 直播油菜成熟期的地上部干物质量和收获指数

Fig. 1 Shoot dry matter and harvest index of direct-sowing oilseed rape at the maturity stage

[注(Note):柱上不同字母表示同一地点处理间差异达5%水平

Different letters above the bars at same site mean significant at 5% levels among the treatments.]

培模式对直播油菜各养分的收获指数也有一定影响,OCPⅢ处理的氮、磷、钾养分在籽粒中的分配比例均相对较高,尤其是磷素。表明该模式下直播油菜所吸收的养分尤其是磷更易于向籽粒进行转移和累积。

2.5 直播油菜的氮、钾肥利用效率

偏生产力是作物经济产量与肥料投入量之比,表示单位养分投入所产生的作物产量,反映肥料的利用效率[19]。从表7可以看出,3种优化栽培模式的氮肥偏生产力相比农民习惯栽培模式均有提高,其中OCPⅢ处理在施氮量较高的情况下在两个试验点均为最高(平均N 13.7 kg/kg),表明该模式有利于直播油菜对氮肥的吸收利用。由于FFP和OCPⅠ处理的施钾量较低,因此其钾肥偏生产力高于施钾较多的OCPⅡ和OCPⅢ处理。OCPⅢ处理在OCPⅡ处理的基础上通过减少钾肥用量但同时增施秸秆,也获得了较高的产量和钾素累积,提高了钾肥的偏生产力(平均29.8 kg/kg K_2O)。表明OCPⅢ

表 5　不同处理直播油菜的经济效益(Yuan/hm²)

Table 5　The economic benefit of direct-sowing oilseed rape under different treatments

地点 Site	处理 Treatment	产值 Value	比对照增加产值 Value increase compared with CK	比对照多支出 Cost increase compared with CK				利润 Net benefit
				肥料 Fertilizer	种子 Seed	用工 Labor	总计 Total	
赤壁 Chibi	CK	2153	—	—	—	—	—	—
	FFP	7585	5432	1238	—	300	1538	3894
	OCP Ⅰ	8200	6047	1467	—	500	1967	4080
	OCP Ⅱ	10933	8780	3155	30	700	3885	4895
	OCP Ⅲ	10728	8575	1875	30	900	2805	5770
荆州 Jingzhou	CK	3471	—	—	—	—	—	—
	FFP	8553	5082	1238	—	300	1538	3544
	OCP Ⅰ	10359	6888	1467	—	500	1967	4921
	OCP Ⅱ	11730	8259	3155	30	700	3885	4374
	OCP Ⅲ	11207	7736	1875	30	900	2805	4931

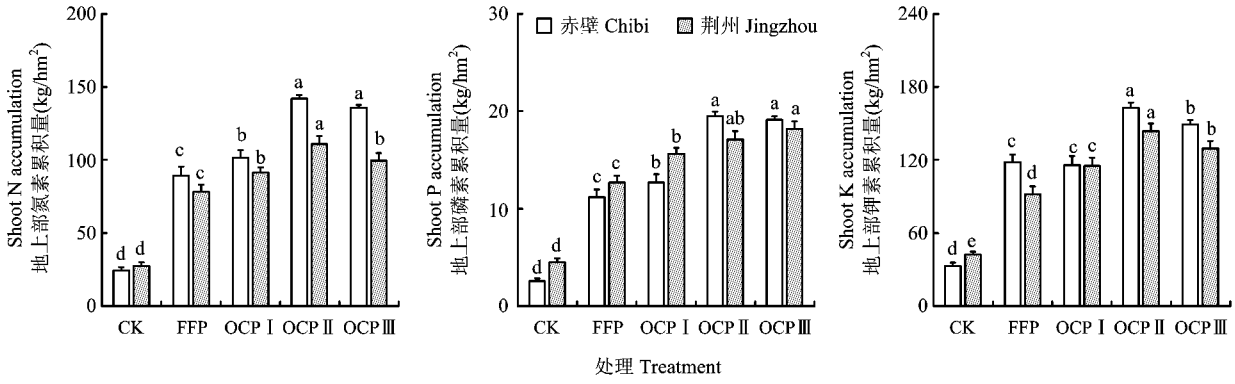

图 2　直播油菜成熟期地上部的氮、磷、钾累积量

Fig. 2　Shoot N, P, and K accumulation amounts of direct-sowing oilseed rape at the maturity stage

[注(Note):同一地点各处理柱子上的不同字母表示处理间差异达到5% 显著水平 Different letters above the bars at same site indicate significant differences among the treatments at the 5% level.]

表 6　直播油菜氮、磷、钾养分的收获指数(%)

Table 6　The N, P, and K harvest indices of direct-sowing oilseed rape

处理 Treatment	氮 N		磷 P		钾 K	
	赤壁 Chibi	荆州 Jingzhou	赤壁 Chibi	荆州 Jingzhou	赤壁 Chibi	荆州 Jingzhou
CK	75.0 a	76.1 b	83.7 b	85.8 c	12.0 b	12.5 c
FFP	75.9 a	81.7 a	83.7 b	89.5 b	12.4 b	16.7 a
OCP Ⅰ	74.9 a	82.6 a	84.4 a	90.4 b	13.3 a	14.3 b
OCP Ⅱ	74.6 a	80.9 a	85.6 a	88.9 b	14.0 a	15.1 ab
OCP Ⅲ	75.1 a	81.8 a	86.4 a	91.1 a	13.8 a	14.9 ab

注(Note):同列数据后不同字母表示处理间差异达 5% 显著水平 Values followed by different letters in a column are significant among treatments at the 5% level.

表7 直播油菜的氮、钾肥利用效率(偏生产力 kg/kg)

Table 7 The efficiencies of N and K fertilizers of direct-sowing oilseed rape (PFP)

处理 Treatment	氮 N		钾 K	
	赤壁 Chibi	荆州 Jingzhou	赤壁 Chibi	荆州 Jingzhou
FFP	10.3 c	11.6 b	41.1 a	46.4 a
OCP Ⅰ	11.1 bc	14.0 a	33.3 b	42.1 a
OCP Ⅱ	12.7 ab	13.6 a	17.8 d	19.1 c
OCP Ⅲ	13.4 a	14.0 a	29.1 c	30.4 b

注(Note):同列数据后的不同字母表示处理间差异达到5%显著水平 Values followed by different letters in a column are significant among treatments at the 5% level.

处理更有利于氮、钾肥养分的高效利用。

3 讨论

我国是世界上人口最多的发展中国家,粮油安全对国民经济和社会稳定具有重要意义。在当前耕地、水、矿质养分等农业资源状况不足的条件下,发展高产高效的栽培模式是提高我国作物产量和资源利用效率的重要途径[20]。由于社会经济发展和农村劳动力结构转变,我国油菜的直播种植发展迅速[15,21],但滞后的栽培与施肥技术限制了其产量和效益[17]。农民为获取高产常常过量施用化肥尤其是氮肥,浪费大量资源而产量却并不理想,一些地区出现高产不高效、增产不增收的现象。因此,发展包括优化施肥与其他技术配合的直播油菜高产高效栽培技术势在必行。

本研究表明,直播油菜的高产高效栽培首先需要改善各种相关的可控栽培因素,以大幅提高产量水平充分发挥现有品种的生物学潜力,即增加成熟期地上部的总干物质量;然后通过某些因素和措施(比如施肥时期或比例)的优化调整,在不增加养分投入的情况下保证产量水平从而增加效益和提高效率,这与在水稻[10]和玉米上[11]的研究类似。结果显示,优化模式Ⅲ(OPCⅢ)在当前生产条件下有利于直播油菜的生长发育,可获得较高的产量和经济效益,肥料利用率也较高,实现了高产高效的目标。通过对比和分析初步总结出适宜当前直播油菜生产的几项高产高效关键栽培技术:

1) 平衡施肥,适量施氮而增施磷、钾、硼,同时施用有机肥,推广秸秆还田 油菜是对养分需求较多的作物,大量研究表明[1,9,22-25],氮、磷、钾、硼养分的缺乏或不平衡都会影响油菜前期的生长发育、植株形态构建、养分吸收运转和后期的开花结实,降低籽粒产量及品质。当前多数农民在种植油菜中普遍重氮肥而轻磷、钾、硼肥,同时很少施用有机肥或进行秸秆还田[5],这对于油菜尤其是直播油菜十分不利,因此应积极推行合理平衡的施肥措施,适量施氮而增施磷、钾、硼肥。施用有机肥和实施秸秆还田有助于改善土壤结构、提高土壤肥力和促进物质循环,在当前生产中也应大力提倡和推广[26-28]。另外,将水稻季农田剩余的大量稻草在油菜季进行还田,不仅避免焚烧带来的环境污染使资源得以充分利用,而且还降低了农民的化肥成本投入而利于节本增效。

2) 合理安排施肥时期及比例,氮、钾肥分次施用,减少氮肥基施而增加苗肥和薹肥 研究表明油菜苗期对氮素需求量较大,后期对磷、钾的累积则较多,而各养分在花期的累积效率最高[22,24],因此应根据油菜生育进程和养分吸收规律合理安排施肥时期和比例,在关键时期适时施用氮、钾肥。直播油菜相比移栽油菜不经历育苗过程,大田环境出苗极易受水分、温度、土质及养分等因素影响,出苗后植株发育偏弱,基施大量氮肥很可能会导致幼小的油菜植株无法有效吸收利用而造成资源浪费,而且笔者在近几年研究中发现氮肥基施量过多不利于直播油菜出苗(资料未发表),因此直播油菜应减少氮肥基施量而改在苗期适时追施以满足该时期对氮素的大量需求,提苗增粗促秋发,增加叶片确保植株冬前健壮,也利于后期对养分的吸收和利用。另外,在养分效率最高的薹花期适量追施氮、钾肥可促使油菜春发,改善角果发育而提高单株生产力,而且氮、钾肥分次施用可减少养分损失、提高肥料利用率。

3) 适当密植以增库促源,加强植保防治病虫草害 直播油菜主要依靠群体优势获得高产,角果则是产量形成中重要的"源"和"库"器官[29],提高群

体角果数目对增产有重要意义，但不合适的田间植株密度难以保障群体优势发挥。已有的研究表明当前我国直播油菜的密度在 30×10^4 plant/hm^2 左右为宜[30-32]，本试验也证明此密植条件下通过合理施肥调控可以保证直播油菜有较高的单株生产力，而且可有效增加单位面积的总角果数和籽粒数，说明在合理施肥措施下适当密植可以增库促源，发挥高产潜力[33]。直播条件下病、虫、草害相对比较严重，不利于油菜生长与高产[34-35]，尤其是生存能力很强的杂草与油菜争夺养分和水分，并抢占生存空间。因此直播油菜的植保措施在前期应注意对杂草的清除而后期要重视病、虫的防治。

改进单项技术对油菜生产会有一定的促进效果，但实现高产高效需要对各项技术进行集成，形成综合管理模式（如本研究中的优化模式Ⅲ），才能在实际生产中发挥更大作用。油菜高产高效方面的研究相比水稻、小麦、玉米等作物比较落后，现有理论和技术在实际生产中很难做到准确及时地养分调控与优化，尤其是实时实地养分综合管理技术尚处于缺失状态。广大科研工作者和基层农技人员无法及时有效地针对大田状况提出养分管理对策和解决方案，多数情况下只能凭个人经验和感觉进行管理，合理性和准确性都难以保证。同时，如何选择和整合各项技术而发挥最好效果也是非常重要的问题。因此，油菜高产高效研究应进一步深入，并且需要反复验证和完善，最终形成技术理论体系而为我国油菜产业的发展提供指导。

4　结论

适当增密（30×10^4 plant/hm^2）、秸秆还田和加强植保防治病虫草害的基础上结合优化施肥（氮、磷、钾肥用量分别为 N 195 kg/hm^2、P_2O_5 90 kg/hm^2、K_2O 90 kg/hm^2、硼砂用量 15 kg/hm^2，氮肥和钾肥分次施用）的综合栽培措施最有利于当前直播油菜生产。该模式适应直播油菜的生育进程和养分吸收规律，干物质量和养分累积均较高，产量、经济效益及养分效率俱佳，实现了高产高效目标。总结当前直播油菜栽培管理的关键技术，包括 1）平衡施肥，适量施氮而增磷、钾、硼肥，同时施用有机肥，推广秸秆还田；2）合理安排施肥时期及比例，氮、钾肥分次施用，减少氮肥基施而增加苗肥和薹肥；3）适当密植和加强植保。

参 考 文 献：

[1] 鲁剑巍. 油菜科学施肥技术[M]. 北京：金盾出版社，2010.
Lu J W. Scientific fertilization technology of rapeseed [M]. Beijing: Gold Shield Press, 2010.

[2] 王汉中. 我国油菜产业发展的历史回顾与展望[J]. 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 [J]. Chin. J. Oil Crop Sci. , 2010, 32(2): 300-302.

[3] 殷艳，廖星，余波，等. 我国油菜生产区域布局演变和成因分析[J]. 中国油料作物学报，2010，32(1)：147-151.
Yin Y, Liao X, Yu B *et al*. Regional distribution evolvement and development tendency of Chinese rapeseed production [J]. Chin. J. Oil Crop Sci. , 2010, 32(1): 147-151.

[4] 中华人民共和国国家统计局. 中国统计年鉴[M]. 北京：中国统计出版社，2012.
National Bureau of Statistics of China. Chinese statistical yearbook [M]. Beijing: China Statistics Press, 2012.

[5] 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)：418-423.
Xu H L, Lu J W, Li X K *et al*. Investigation of present fertilization on rapeseed in Hubei province [J]. Chin. J. Oil Crop Sci. , 2010, 32(3): 418-423.

[6] Zou J W, Yao H, Zheng X H *et al*. Quantifying direct N_2O emissions in paddy fields during rice growing season in mainland China: Dependence on water regime [J]. Atmos. Environ. , 2007, 41: 8030-8042.

[7] Guo J H, Liu X J, Zhang Y *et al*. Significant acidification in major Chinese croplands [J]. Science, 2010, 327: 1008-1010.

[8] Le C, Zha Y, Li Y *et al*. Eutrophication of lake waters in China: cost, causes, and control [J]. Environ. Manage. , 2010, 45: 662-668.

[9] 李银水，鲁剑巍，邹娟，等. 湖北省油菜氮肥效应及推荐用量研究[J]. 中国油料作物学报，2008，30(2)：218-223.
Li Y S, Lu J W, Zou J *et al*. Study on effect of nitrogen application and recommendation of optimal N application for rapeseed in Hubei [J]. Chin. J. Oil Crop Sci. , 2008, 30(2): 218-223.

[10] 薛亚光，陈婷婷，杨成，等. 中粳稻不同栽培模式对产量及其生理特性的影响[J]. 作物学报，2010，36(3)：466-476.
Xue Y G, Chen T T, Yang C *et al*. Effects of different cultivation patterns on the yield and physiological characteristics in mid-season Japonica rice [J]. Acta Agron. Sin. , 2010, 36(3): 466-476.

[11] Chen X P, Cui Z L, Vitousek P M *et al*. Integrated soil-crop system management for food security [J]. PNAS, 2011, 108(16): 6399-6404.

[12] 杜世州，曹承富，张耀兰，等. 氮素运筹对淮北地区超高产小麦养分吸收利用的影响[J]. 植物营养与肥料学报，2011，17(1)：9-15.
Du S Z, Cao C F, Zhang Y L *et al*. Effects of nitrogen application on nitrogen absorption, utilization in super-high-yielding wheat in Huaibei region [J]. Plant Nutr. Fert. Sci. ,

2011, 17(1): 9-15.

[13] 李杰, 张洪程, 常勇, 等. 不同种植方式水稻高产栽培条件下的光合物质生产特征研究[J]. 作物学报, 2011, 37(7): 1235-1248.
Li J, Zhang H C, Chang Y *et al*. Characteristics of photosynthesis and matter production of rice with different planting methods under high-yielding cultivation condition [J]. Acta Agron. Sin., 2011, 37(7): 1235-1248.

[14] 战秀梅, 李亭亭, 韩晓日, 等. 不同施肥方式对春玉米产量、效益及氮素吸收和利用的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2011, 17(4): 861-868.
Zhan X M, Li T T, Han X R *et al*. Effects of nitrogen fertilization methods on yield, profit and nitrogen absorption and utilization of spring maize [J]. Plant Nutr. Fert. Sci., 2011, 17(4): 861-868.

[15] 官春云. 改变冬油菜栽培方式, 提高和发展油菜生产[J]. 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 [J]. Chin. J. Oil Crop Sci., 2006, 28(1): 83-85.

[16] 鲍士旦. 土壤农化分析[M]. 北京: 中国农业出版社, 2000.
Bao S D. Soil and agricultural chemistry analysis [M]. Beijing: China Agriculture Press, 2000.

[17] 王寅, 鲁剑巍, 李小坤, 等. 移栽和直播油菜氮肥施用效果及适宜施氮量研究[J]. 中国农业科学, 2011, 44(21): 4406-4414.
Wang Y, Lu J W, Li X K *et al*. Study on nitrogen fertilizer effect and optimum fertilizer rate for transplanting and direct-seeding rapeseed [J]. Sci. Agric. Sin., 2011, 44(21): 4406-4414.

[18] 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 Agric. Univ. Jiangxiensis, 2007, 29(1): 1-5.

[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 S B, Huang J L, Zhong X H *et al*. Research strategy in improving fertilizer-nitrogen use efficiency of irrigated rice in China [J]. Sci. Agric. Sin. 2002, 35(9): 1095-1103.

[20] 张福锁, 崔振岭, 王激清, 等. 中国土壤和植物养分管理现状与改进策略[J]. 植物学通报, 2007, 24(6): 687-694.
Zhang F S, Cui Z L, Wang J Q *et al*. Current status of soil and plant nutrient management in China and improvement strategies [J]. Chin. Bull. Bot., 2007, 24(6): 687-694.

[21] 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[J]. 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 [J]. Chin. J. Oil Crop Sci., 2010, 32(1): 57-64.

[22] 朱洪勋, 李贵宝, 张翔, 等. 高产油菜营养吸收规律及施用氮磷钾对产量和品质的影响[J]. 土壤肥料, 1995, (5): 34-37.
Zhu H X, Li G B, Zhang X *et al*. Nutrient absorption regular and effects of NPK application on yield and quality for high-yield rapeseed [J]. China Soils Fert., 1995, (5): 34-37.

[23] 孙克刚, 王亚莉, 鹿智江, 等. 油菜氮磷钾元素的需肥规律和施肥研究[J]. 土壤肥料, 2002, (4): 35-37.
Sun K G, Wang Y L, Lu Z J *et al*. Study on nutritional character of rape and NPK fertilizer application effect [J]. Soils Fert., 2002, (4): 35-37.

[24] 郭庆元, 李云昌. 中国种植业优质高产技术丛书—油菜[M]. 武汉: 湖北科学技术出版社, 2003.
Guo Q Y, Li Y C. China high quality and yield planting technology series - Rapeseed [M]. Wuhan: Hubei Science and Technology Press, 2003.

[25] 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[J]. 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 [J]. Sci. Agric. Sin., 2008, 41(3): 752-759.

[26] 申源源, 陈宏. 秸秆还田对土壤改良的研究进展[J]. 中国农学通报, 2009, 25(19): 291-294.
Shen Y Y, Chen H. The progress of study on soil improvement research with straw stalk [J]. Chin. Agric. Sci. Bull., 2009, 25(19): 291-294.

[27] 姜丽娜, 敬岩, 符建荣, 等. 有机肥提升高产稻田生产力及土壤生物活性作用研究[J]. 土壤通报, 2010, 41(4): 892-897.
Jiang L N, Jing Y, Fu J R *et al*. Contribution of manure to enhancements of productivity and biological activity in high-yielding rice fields [J]. Chin. J. Soil Sci., 2010, 41(4): 892-897.

[28] 王志勇, 白由路, 杨俐苹, 等. 低土壤肥力下施钾和秸秆还田对作物产量及土壤钾素平衡的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2012, 18(4): 900-906.
Wang Z Y, Bai Y L, Yang L P *et al*. Effects of application of potassium fertilizer and straw returning on crop yields and soil potassium balance in low-yielding fields [J]. Plant Nutr. Fert. Sci., 2012, 18(4): 900-906.

[29] 冷锁虎, 朱耕如, 邓秀兰. 油菜籽粒干物质来源的研究[J]. 作物学报, 1992, 18(4): 250-257.
Leng S H, Zhu G R, Deng X L. Studies on the sources of the dry matter in the seed of rapeseed [J]. Acta Agron. Sin., 1992, 18(4): 250-257.

[30] 袁卫红. 直播密度对油菜产量、农艺性状及抗性的影响[J]. 江西农业学报, 2008, 20(10): 37-38.
Yuan W H. Effects of planting density on yield, agronomic characters and resistance of rapeseed [J]. Jiangxi J. Agric. Sci., 2008, 20(10): 37-38.

[31] 张敏, 张月华. 浙北地区稻田免耕直播油菜的密度优化[J]. 浙江农业科学, 2009, (6): 1139-1141.
Zhang M, Zhang Y H. The density optimizing of no-tillage paddy rapeseed in north Zhejiang province [J]. J. Zhejiang Agric. Sci., 2009, (6): 1139-1141.

[32] 马霓，张春雷，李俊，等. 播期和密度对免耕直播油菜生长及产量的影响[J]. 湖北农业科学，2010，49(7)：1580-1583.
Ma N, Zhang C L, Li J *et al*. Effects of sowing date and plant density on growth and yield of direct seeding rapeseed (*Brassica napus* L.) under no tillage cultivation condition [J]. Hubei Agric. Sci. , 2010, 49(7): 1580-1583.

[33] 马霓，张春雷，李俊，等. 种植密度对直播油菜结实期源库关系及产量的调节[J]. 中国油料作物学报，2009，31(2)：180-184.
Ma N, Zhang C L, Li J *et al*. Regulation of planting density on source - sink relationship and yield at seed-set stage of rapeseed (*Brassica napus* L.) [J]. Chin. J. Oil Crop Sci. , 2009, 31(2):180-184.

[34] 杨家祥. 防治油菜病虫草害，保障优质油菜发展[J]. 湖北植保，2000，(5)：22-23.
Yang J X. Control the diseases, pests and weeds to ensure the good development of rapeseed [J]. Hubei Plant Prot., 2000, (5): 22-23.

[35] 石纪成，李艳大，荣照山，等. 稻田免耕直播油菜出苗及杂草发生的研究[J]. 江西农业学报，2007，19(6)：38-39.
Shi J C, Li Y D, Rong Z S *et al*. Study on emergence of oilseed rape directly seeded and weeds occurrence in no-tillage paddy [J]. Jiangxi J. Agric. Sci. , 2007, 19(6): 38-39.