

氮肥用量对迟直播早熟油菜产量及氮素利用效率的影响

刘宝林¹, 邹小云^{1,2§}, 宋来强², 官春云^{1*}

(1. 湖南农业大学油料作物研究所/国家油料作物改良中心湖南分中心, 湖南 长沙, 410128;
2. 江西省农业科学院作物研究所/江西省农业科学院油料作物重点实验室, 江西 南昌, 330200)

摘要:为了探讨江西省双季稻区冬闲稻田早熟油菜高效生产及合理高效的氮肥调控模式,以早熟杂交油菜丰油 730 和早熟常规油菜 1358 为试验材料,于 2012 – 2013 年在江西省油菜主产县(市)设置 10 个田间试验和 7 个施氮处理(N0、N90、N120、N150、N180、N210 和 N240,数字表示纯氮用量,单位为 kg · hm⁻²)。通过大田试验,研究不同氮肥用量对江西双季稻区冬闲稻田早熟油菜干物质积累、产量构成因素、产(油)量、效益及氮素吸收和利用等影响。结果表明:早熟油菜单产比较低,早熟杂交品种丰油 730 单产比早熟常规品系 1358 高,合理氮肥施用(N180)条件下各试验点平均增产显著,产量分别达 1 700kg · hm⁻²和 1 500kg · hm⁻²左右;与对照(不施氮)相比,施氮显著提高了油菜产(油)量、干物质累积量和效益,两个早熟品种平均产(油)量增幅均在 75% 以上,效益增幅达 80% 以上;但当施氮量高于 180kg · hm⁻²(即 N210 和 N240),氮肥的增产效应不显著,产油量和经济效益则明显降低。采用线性加平台回归模型对产量和施氮量关系进行拟合,结果发现,丰油 730 和 1358 各试验点肥效模型的拟合均达到显著水平。在各个试验点的推荐用氮量上,丰油 730 为 157 ~ 224kg · hm⁻²,1358 为 159 ~ 199kg · hm⁻²。两个早熟品种施氮 150kg · hm⁻²处理和 180kg · hm⁻²处理间氮肥农学利用率(ANUE)差异未达到显著水平,与其他处理间氮肥农学利用率(ANUE)差异均达到显著水平,且显著高于其他处理。因此,利用双季稻区冬闲稻田种植早熟油菜来扩大种植面积可迅速增加油菜籽总产,江西双季稻区冬闲稻田早熟迟直播油菜施纯氮 150 ~ 180kg · hm⁻²能较好地协调油菜高效生产与氮肥合理利用的统一。

关键词:早熟油菜;氮肥用量;产量;效益;氮肥利用率
中图分类号:S565.406 文献标识码:A 文章编号:1007 – 9084(2015)06 – 0852 – 010

Effects of nitrogen application rate on yield and nitrogen use efficiency of early – mature rapeseed under delayed sowing condition
LIU Bao – lin¹, ZOU Xiao – yun^{1,2§}, SONG Lai – qiang², GUAN Chun – yun^{1*}
(1. Oilseed Crops Institute/National Oil Crops Improvement Center, Hunan Agricultural University, Changsha 410128, China; 2. Institute of Crops/Key Laboratory of Oil Crops, Jiangxi Academy of Agricultural Sciences, Nanchang 330200, China)

Abstract: For efficient nitrogen (N) management and high yield of early – mature (with shorter growth period) rapeseed for winter fallow paddy in 10 sites of Jiangxi Province, field experiments were carried out to study the effects of N application on dry matter accumulation, yield and components, profits and oil production under delayed sowing condition during 2012 – 2013. 7 levels of N treatments were N0, N90, N120, N150, N180, N210 and N240 (numbers indicate pure nitrogen amount in kg per hectare). Results showed that yield of short – growth – period rapeseed was lower than that of moderate – growth – period rapeseed and long – growth – period rapeseed. Hybrid rapeseed cultivars had higher yields than bred lines. Their significantly high yield were under N180, at the peaks about 1 700kg · hm⁻² and 1 500kg · hm⁻² respectively. N application significantly improved dry matter accumulation, yield, profits and oil production of rapeseed compared to N0. The average yield increase and oil pro-

收稿日期:2015-03-24
基金项目:国家油菜产业技术体系(CARS – 13);江西省科技创新团队项目(20152BCB24013);江西省农业科学院创新基金(2011CJJ012)
作者简介:刘宝林,教授,在职博士研究生,研究方向为作物栽培与营养施肥研究,E – mail:jxauzxy@163.com;§ 邹小云为同等贡献作者
* 通讯作者:官春云,教授,中国工程院院士,研究方向为作物育种与栽培技术研究,E – mail:guancy2011@aliyun.com

duction of 2 rapeseed were more than 75%. The average increase of profits were improved more than 80%, but when nitrogen application rate was higher than N180, oil production and profit were significantly reduced. By linear and platform regression model, Fengyou 730 and 1358 recommended N applications were $157 - 224 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ and $159 - 199 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ respectively. ANUE (agronomic nitrogen use efficiency) of the two rapeseeds showed no significant difference at 0.05 level between N150 and N180 treatments. But ANUE under N150 was significantly higher than those under N210 and N240. Therefore, planting early - mature rapeseed, the optimum N fertilizer application rate was $150 - 180 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ under delayed sowing condition in winter fallow paddy of Jiangxi Province.

Key words: Short growth period rapeseed; Nitrogen application rate; Yield; Profit; Nitrogen use efficiency

江西省属中国长江流域双低油菜优势产业带上的油菜主产省,是中国南方双季稻区直播早熟油菜的代表产区,常年油菜种植面积 50 多万公顷,双季稻面积 130 多万公顷^[1]。第二季晚稻收获后绝大部分田块冬季落荒闲置;且江西冬季温、光、水资源丰富,土壤类型十分适合油菜生长,因此充分利用冬季落荒闲置稻田种植冬油菜潜力较大,也是扩大冬油菜种植面积从而提高油菜籽总产量最有效的途径之一。但一直以来由于适合双季稻区的早熟优质甘蓝型油菜品种选育滞后,其配套的栽培营养调控技术基本上处于空白状态,严重制约了江西双季稻区冬闲稻田油菜生产水平的提高。实践证明,培育适合双季稻区稻田生产的早熟甘蓝型油菜新品种,集成配套栽培技术(包括养分调控技术),是进一步提高双季稻区冬油菜种植面积的重要途径^[2]。

油菜是需肥特别是氮肥需求量较大的作物之一^[3],氮肥的施用对油菜的生长发育及其产量品质产生较大影响^[4~6]。研究表明,氮肥的施用对油菜增产增效起了关键的作用^[7];通过合理增施氮肥,籽粒增产幅度可达 20%^[8];但随着施氮量的增加植株氮素累积量、植株含氮量、生物量及籽粒产量增加的同时,氮素利用效率却在降低^[9]。油菜虽是需氮量较多的油料作物,但氮肥利用率低^[10],生产中油菜氮肥施用不足或过量的现象普遍存在^[11]。

江西在油菜施肥技术方面,目前至少存在以下三个方面的问题:一是油菜生产上凭经验施用,且氮肥施用量普遍过多,已超出了油菜所能吸收利用的量,不利于油菜的优质高产,过剩的氮肥对环境亦造成不利影响。二是所采用的施肥技术侧重于产量目标,忽略了以优质轻简高效为主要目标的现代农业生产的需求。三是不同种植模式下油菜施肥技术比较混乱,没有区别对待,特别是没有针对双季稻区油菜施肥技术研究。为此,我们在江西省油菜养分管

理调控等研究的基础上^[7,12],以早熟甘蓝型油菜品种丰油 730 和 1358 为材料,在双季稻区迟直播栽培条件下探讨氮肥用量对早熟油菜氮肥吸收和利用、干物质积累、产量构成因素、产(油)量、效益的影响,为指导江西乃至南方双季稻区早熟油菜合理施肥提供参考依据。

1 材料与方法

1.1 材料与试验设计

甘蓝型双低杂交油菜丰油 730 和双低常规油菜 1358,均为适宜江西双季稻区油菜生产的早熟品种,分别由湖南省农业科学院作物研究所和湖南农业大学油料作物研究所提供。

2012 年 10 月至 2013 年 4 月在南昌县、湖口县、泰和县、永新县、安福县、万安县、都昌县、星子县、袁州区和瑞昌市设置不同氮肥用量田间试验 10 个,前茬作物均为晚季水稻,各试点供试田块耕作层土壤基本理化性质见表 1。所有试验均采用条直播方式,于 2012 年 10 月 20 日至 25 日播种,行距 40cm,3 叶期定苗,留苗密度 $4.2 \times 10^5 \sim 4.5 \times 10^5$ 株/hm²。于 2013 年 4 月 20 日至 26 日收获。

所有试验点均设置 N0、N90、N120、N150、N180、N210 和 N240 (数字表示纯氮用量,单位为 kg · hm⁻²) 7 个施氮处理。按随机区组设计,小区面积 20m²,重复 3 次。氮肥底施 60%,苗期和抽薹期各施 20%;P₂O₅ 90kg · hm⁻²,全部底施;K₂O 90kg · hm⁻²,70% 底施,30% 薹期施用;硼肥 16.5kg · hm⁻²,底施 15kg · hm²,薹期叶面喷施 1.5kg · hm⁻²。氮肥用尿素(含 N 46%),磷肥用钙镁磷肥(含 P₂O₅ 12%),钾肥用氯化钾(含 K₂O 60%),硼肥用硼砂(含硼 11.3%)。肥料分小区称取,均匀施用。除按方案施用肥料外,其它生产管理措施均采用当地常规管理方法。

表 1 各试验点土壤基本理化性质
Table 1 Soil physical and chemical properties of each site

试验点 Trail site	pH	有机质 Organic matter	碱解氮 Avail. N	有效磷 Avail. P	速效钾 Avail. K	有效硼 Avail. B
南昌 Nanchang	5.39	29.47	130.04	40.58	81.04	0.11
湖口 Hukou	5.60	41.33	195.05	51.13	85.18	0.29
泰和 Taihe	5.35	28.38	119.26	34.33	72.83	0.19
永新 Yongxin	5.49	31.30	142.64	41.16	44.09	0.08
安福 Anfu	5.36	32.25	139.08	35.14	69.32	0.14
万安 Wan'an	5.40	29.36	108.83	38.63	72.86	0.12
都昌 Duchang	5.38	30.57	138.39	40.10	74.09	0.11
星子 Xingzi	5.31	29.41	121.50	36.87	72.79	0.11
袁州 Yuanzhou	5.28	30.66	83.79	32.47	74.64	0.05
瑞昌 Ruichang	5.36	28.38	109.67	38.23	81.76	0.25

1.2 测定项目与方法

所有试验点各处理分别于越冬期、初花期、终花期采取典型植株样本,于 105℃ 杀青,80℃ 烘干至恒重后称重并粉碎,备用。成熟期每小区取有代表性植株 10 株风干考种,考察有效分枝数、单株角果数、每角粒数、千粒重和单株产量等性状。另外,每小区取有代表性植株 6 株待风干后先称地上部总干重,再分成茎枝、角壳和籽粒,分别称重并测定氮素含量。以各小区实收计产。

植株氮含量用浓硫酸混合催化剂消化,凯氏定氮法测定含氮量。试验区土壤和植株养分含量的测定均参照文献[13]的方法。肥料的利用效率参照文献[14~17]的方法,根据以下公式计算:

氮肥利用率(%) = (施氮区植株总吸氮量 - 不施氮区植株总吸氮量) / 施氮量 × 100;

氮肥偏生产力(kg/kg) = 施氮区产量 / 施氮量;

氮肥农学利用率(kg/kg) = (施氮区产量 - 不施氮区产量) / 施氮量;

氮素吸收效率(kg/kg) = 植株地上部氮素累积量 / 施氮量;

氮收获指数(%) = 籽粒中含氮量 / 植株氮素累积量 × 100;

利用 Excel2003 与 SPSS13.0 软件进行数据整理与统计分析。

对 10 个试点分别采用线性加平台回归模型对油菜产量和施氮量关系进行拟合^[18]。

2 结果与分析

2.1 不同施氮量早熟油菜氮素吸收和利用效率

表 2 列出了 10 个试验点不同生育时期下各施氮处理油菜氮素吸收和利用效率平均值和变幅(10 个试验点的最大值和最小值)。数据表明,试验点、施氮量和两者的交互作用均显著影响了两个早熟品种的氮肥利用率、氮肥农学利用率、氮素吸收效率、

氮肥偏生产力和氮收获指数。油菜氮肥利用效率和氮素吸收受氮肥用量影响,氮肥利用率是随氮肥用量的增加呈先增后降的趋势,氮素吸收效率随氮肥用量的增加而下降。丰油 730 施氮 150kg · hm⁻² 处理和 180kg · hm⁻² 处理间氮肥农学利用率差异未达到显著水平,但显著高于其他处理;1358 施氮 120kg · hm⁻² 处理、150kg · hm⁻² 处理和 180kg · hm⁻² 处理间氮肥农学利用率差异均未达到显著水平,但显著高于其他处理。因此就氮肥利用率及氮肥农学利用率而言,丰油 730 的最适施氮量为 N150,1358 为 N120。

氮肥吸收效率随施氮量增加呈下降趋势,两个品种表现一致。由表 2 可见,随着氮肥用量的增加,油菜偏生产力呈下降趋势,表明增加氮肥施用量并不一定能发挥出其对油菜产量形成的促进作用,增施氮肥量对油菜产量的贡献有限,甚至抑制了其对产量形成的促进。在各处理中,随着氮肥用量的增加,油菜氮收获指数呈下降趋势。表明氮肥用量过高不利于氮收获指数的提高及氮素在油菜籽粒中的分配。

2.2 不同施氮量早熟油菜干物质积累

表 3 是 10 个试验点不同生育时期下各施氮处理油菜平均干物质积累量和变幅。由表 3 可以看出,氮肥对油菜干物质生产有明显的促进作用,无论是在哪个生育时期,干物质积累量表现出随着生育进程后移干物质逐渐增加的规律,两个品种均在 N240 施氮处理下干物质积累量最大;越冬期施氮量在 150kg · hm⁻² 以上 1358 的干物质积累量略高于丰油 730,而初花期以后 1358 在各个施氮量下的干物质积累量略低于丰油 730。越冬期两个品种施氮效果不明显,丰油 730 在 N180 与 N240 间差异不显著,1358 在 N120 与 N210 间差异不显著,但与 N240 处理间差异达极显著水平。初花期,丰油 730 在 N90 与 N120,N150 与 N180 之间差异不显著,其余

处理间差异显著;1358 则为 N120 与 N150 处理间差异不显著,N210 与 N240 间差异不显著,其余处理间差异显著。终花期两个品种表现一致,N120 与 N180 之间差异不显著,N210 与 N240 间差异不显著。成熟期两个品种各氮肥处理间差异均达到显著水平。由此说明,施氮肥除越冬期外,对油菜其它各时期的干物质积累均有显著影响,N210 处理干物质积累已达到最大,再增加施氮效果不明显。

表 2 不同施氮量处理油菜氮素吸收和利用率
Table 2 N uptake and utilization efficiency of different nitrogen rates

品种 Variety	处理 Treatment	氮肥利用率/% N use efficiency		氮肥农学利用率/(kg/kg) Agronomic N use efficiency		氮素吸收效率/(kg/kg) N uptake efficiency		氮肥偏生产率/(kg/kg) Partial factor productivity		氮收获指数/% N harvest index	
		变幅 Range	平均 Mean	变幅 Range	平均 Mean	变幅 Range	平均 Mean	变幅 Range	平均 Mean	变幅 Range	平均 Mean
丰油 730 Fengyou 730	N0									54.48 – 78.95	69.61aA
	N90	18.52 ~ 38.98	26.19bB	2.76 ~ 7.41	5.41cC	0.40 ~ 0.65	0.54aA	10.17 ~ 15.57	12.61aA	51.38 ~ 76.79	66.43bB
	N120	13.08 ~ 36.28	26.33bB	2.58 ~ 7.23	5.71bB	0.35 ~ 0.57	0.48aA	9.24 ~ 12.67	11.11aAB	53.76 ~ 75.06	66.19bB
	N150	13.64 ~ 36.74	28.76aA	2.60 ~ 7.43	5.99aA	0.41 ~ 0.54	0.46aA	9.25 ~ 11.58	10.31bB	53.83 ~ 73.77	65.29bB
	N180	17.96 ~ 36.65	30.20aA	3.89 ~ 7.12	5.95aA	0.39 ~ 0.50	0.45aA	8.70 ~ 10.22	9.55bB	55.09 ~ 75.49	63.63cC
	N210	17.41 ~ 35.95	27.11abAB	3.25 ~ 6.15	5.12dD	0.34 ~ 0.41	0.40abAB	7.47 ~ 8.82	8.21cC	59.72 ~ 71.95	63.61cC
	N240	15.52 ~ 35.87	24.79cC	3.05 ~ 5.56	4.63eE	0.30 ~ 0.47	0.36bAB	6.70 ~ 7.89	7.33dD	55.58 ~ 75.08	62.65cC
	试验点(S)		* *		* *		* *		* *		* *
	施氮量(N)		*		* *		* *		* *		* *
	S × N		* *		* *		* *		* *		* *
1358	N0									52.62 ~ 80.41	67.08aA
	N90	16.80 ~ 40.74	25.30cC	2.91 ~ 7.50	5.02bB	0.31 ~ 0.63	0.50aA	7.07 ~ 14.22	10.99aA	56.59 ~ 74.55	64.16bB
	N120	15.24 ~ 42.48	28.22bB	3.75 ~ 7.02	5.51aA	0.38 ~ 0.56	0.47aA	7.87 ~ 11.70	10.00aA	56.95 ~ 79.09	63.34bB
	N150	19.59 ~ 46.48	30.11aA	3.79 ~ 6.53	5.42aA	0.38 ~ 0.61	0.45aA	7.91 ~ 10.22	9.00abAB	46.36 ~ 73.25	61.25cBC
	N180	19.85 ~ 44.84	30.85aA	3.48 ~ 7.18	5.52aA	0.34 ~ 0.54	0.43aA	7.75 ~ 9.80	8.51bB	50.64 ~ 69.54	60.68cC
	N210	18.30 ~ 42.60	28.12bB	2.99 ~ 6.23	4.82bB	0.31 ~ 0.53	0.39abAB	6.78 ~ 8.50	7.39bBC	47.63 ~ 69.61	60.34cC
	N240	15.33 ~ 40.88	26.00cC	2.75 ~ 5.59	4.24cC	0.30 ~ 0.50	0.35bB	5.91 ~ 7.12	6.48cC	46.12 ~ 72.50	59.98cC
	试验点(S)		* *		* *		* *		* *		* *
	施氮量(N)		*		* *		* *		* *		* *
	S × N		* *		* *		* *		* *		* *

注:10 个试验点不同生育时期下各施氮处理油菜氮素吸收和利用效率平均值和变幅。同列不同小写、大写字母分别表示差异达 P<0.05 和 P<0.01 水平显著;* * 表示差异 1% 水平显著,* 表示差异 5% 水平显著。下同
Note:Data showed average N uptake and utilization efficiency of 10 sites. * and differences lowercase letters in the same column indicate significant differences at 0.05 level. * * and capital letters in the same column indicate significant differences at 0.01 level. Same as below

表 3 不同施氮量下油菜单株干物质积累
Table 3 Dry matter accumulation of oilseed rape under different nitrogen rate treatments /g

品种 Variety	处理 Treatment	越冬期 Wintering		初花期 Beginning of flowering		终花期 Final flowering		成熟期 Maturity	
		变幅 Range	平均 Mean	变幅 Range	平均 Mean	变幅 Range	平均 Mean	变幅 Range	平均 Mean
丰油 730 Fengyou 730	N0	0.15 ~ 0.58	0.30dD	0.39 ~ 3.52	1.88eE	1.12 ~ 9.80	3.70dD	2.34 ~ 14.09	6.48fF
	N90	0.52 ~ 1.31	0.83cC	1.08 ~ 4.75	3.26dD	2.97 ~ 13.37	6.44cC	6.04 ~ 19.13	12.46eE
	N120	0.58 ~ 1.74	0.97bB	1.27 ~ 5.42	3.68dD	3.84 ~ 14.81	7.51bcB	4.85 ~ 22.83	14.25dD
	N150	0.43 ~ 1.76	0.97bB	1.79 ~ 6.36	4.12cC	4.54 ~ 17.54	8.71bB	7.23 ~ 26.47	16.35cC
	N180	0.57 ~ 1.85	1.08bAB	2.44 ~ 6.83	4.25cC	4.33 ~ 16.99	8.72bB	8.47 ~ 27.72	16.36cC
	N210	0.63 ~ 1.96	1.18aA	3.17 ~ 7.86	4.96bB	6.17 ~ 21.72	10.41aA	9.78 ~ 30.51	18.96bB
	N240	0.49 ~ 2.11	1.23aA	3.94 ~ 10.27	5.62aA	6.21 ~ 18.85	10.57aA	10.68 ~ 29.11	20.70aA
1358	N0	0.11 ~ 0.58	0.33dD	0.36 ~ 2.84	1.55eE	0.52 ~ 7.42	3.13dD	0.97 ~ 12.64	5.93eE
	N90	0.39 ~ 1.27	0.78cC	1.48 ~ 4.61	3.04dD	2.79 ~ 10.98	5.51cC	4.07 ~ 17.03	11.21dD
	N120	0.42 ~ 1.68	0.91bBC	1.53 ~ 5.40	3.67cC	4.52 ~ 14.23	7.42bB	6.55 ~ 19.48	13.16cC
	N150	0.47 ~ 1.67	1.08bB	1.63 ~ 5.58	3.80cC	4.98 ~ 14.93	7.95bB	8.80 ~ 19.90	13.58cC
	N180	0.64 ~ 1.78	1.11bB	1.77 ~ 6.20	4.03bB	5.27 ~ 13.56	8.13abB	7.35 ~ 25.68	16.29bB
	N210	0.69 ~ 2.15	1.19bB	2.04 ~ 6.44	4.51aA	6.13 ~ 16.33	9.42aA	10.79 ~ 27.44	18.80aA
	N240	0.72 ~ 2.25	1.31aA	1.99 ~ 8.15	4.60aA	6.23 ~ 15.77	9.48aA	10.45 ~ 33.51	19.10aA

2.3 不同施氮量对早熟油菜产量构成因素的影响
方差分析表明,丰油 730 有效分枝数除试验点与施氮量两者交互作用未达显著水平外,其他性状不同试验点、施氮量及两者的交互作用均达到显著或极显著水平;1358 千粒重除施氮量、试验点与施

氮量两者交互作用未达显著水平外,其他性状不同试验点、施氮量及两者的交互作用均达到显著或极显著水平。由表 4 可以看出,增施氮肥可以增加油菜的单株有效角果数,两个早熟油菜相比,除不施氮对照处理外,丰油 730 的单株有效角果数比 1358 增

加 8.99% ~ 20.33%。显然,单株有效角果数的增加是油菜产量增加的重要原因之一,这对于油菜生产有重要的意义,选择单株有效角果数多的油菜品种种植是保证高产的重要原因。由表 4 还可以看出增施氮肥还可以增加油菜的有效分枝数、单株角果数和单株产量,两个早熟油菜品种均有随着施氮量的增加而增加的趋势,早熟杂交油菜丰油 730 在同

一施氮处理下均高于早熟常规品系 1358。千粒重是油菜产量构成因素中比较稳定的一个参数,施氮量的增加并没有表现明显的规律,主要是因为千粒重是受油菜自身的特性决定,但不同的油菜品种的千粒重差异却很明显,早熟油菜品系 1358 明显高于早熟杂交油菜丰油 730。每角粒数随施氮量增加而增加,但超过 N180(丰油 730)和 N210(1358)则下降。

表 4 不同施氮量下油菜产量构成因素比较
Table 4 Yield components of rapeseed under different nitrogen rate treatments

品种 Variety	处理 Treatment	有效分枝数 Effective branch		单株角果数 Pod per plant		每角粒数 Seeds per pod		千粒重 1 000 ~ seeds weight/g		单株产量 Seed yield per plant/(g/plant)	
		变幅 Range	平均 Mean	变幅 Range	平均 Mean	变幅 Range	平均 Mean	变幅 Range	平均 Mean	变幅 Range	平均 Mean
丰油 730 Fengyou 730	N0	0.1 ~ 3.4	1.07dD	15.5 ~ 66.2	48.78dD	6.7 ~ 22.7	16.05cC	2.80 ~ 4.66	3.43bB	0.41 ~ 4.55	1.79fD
	N90	1.0 ~ 5.1	2.52cC	65.6 ~ 110.3	88.40cC	10.8 ~ 23.3	19.17abA	2.84 ~ 4.38	3.38bB	1.33 ~ 7.83	3.63cC
	N120	0.9 ~ 4.6	2.52cC	61.6 ~ 111.6	92.94cC	11.9 ~ 23.1	18.72bA	2.68 ~ 4.79	3.41bB	1.56 ~ 7.94	4.20dBC
	N150	1.1 ~ 5.9	3.20bB	72.0 ~ 127.0	101.85bB	12.0 ~ 25.0	19.18abA	2.86 ~ 4.51	3.43bB	1.74 ~ 9.88	4.68cB
	N180	1.8 ~ 6.3	3.40bB	76.1 ~ 125.2	104.98bB	13.6 ~ 26.2	20.43aA	2.73 ~ 4.58	3.37bB	2.32 ~ 8.83	4.77cB
	N210	1.1 ~ 5.5	3.61aAB	80.9 ~ 138.7	119.63aA	12.5 ~ 24.6	19.43abA	2.85 ~ 4.62	3.45bB	3.06 ~ 9.66	5.47bA
	N240	2.6 ~ 5.5	3.77aA	101.2 ~ 145.9	119.86aA	12.9 ~ 23.5	19.62abA	2.91 ~ 4.86	3.60aA	3.18 ~ 10.35	5.96aA
	试验点 Sites (S)		* *		* *		* *		* *		* *
	施氮量(N)		* *		* *		* *		*		* *
	S × N		NS		* *		* *		* *		*
1358	N0	0.1 ~ 2.9	0.96eE	23.9 ~ 87.8	52.91eE	7.1 ~ 19.1	14.41bA	3.47 ~ 4.74	4.24bA	0.19 ~ 5.19	2.05eD
	N90	0.4 ~ 3.3	1.48dD	57.7 ~ 90.4	74.26dD	9.9 ~ 21.7	17.11aA	3.19 ~ 5.01	4.25bA	1.03 ~ 6.24	2.97dD
	N120	0.3 ~ 3.8	1.88cCD	43.9 ~ 113.4	85.27cC	13.1 ~ 23.2	18.33aA	3.28 ~ 5.06	4.27abA	1.41 ~ 7.55	4.01cC
	N150	0.5 ~ 4.4	2.12bcBC	54.0 ~ 126.8	89.45cBC	13.1 ~ 19.7	17.53aA	3.27 ~ 5.01	4.36abA	1.95 ~ 8.49	4.38cBC
	N180	0.3 ~ 4.0	2.13bbcBC	67.2 ~ 131.9	92.58bcBC	11.3 ~ 21.1	17.24aA	3.25 ~ 5.04	4.27abA	1.63 ~ 8.16	4.57bcABC
	N210	0.6 ~ 4.6	2.45abAB	63.1 ~ 135.4	99.42abAB	12.8 ~ 24.6	20.44aA	3.34 ~ 5.13	4.40aA	1.92 ~ 8.27	5.02abAB
	N240	1.4 ~ 4.8	2.63aA	87.8 ~ 139.6	105.59aA	12.5 ~ 25.9	18.43aA	3.36 ~ 5.25	4.34abA	2.64 ~ 10.26	5.22aA
	试验点 Sites (S)		* *		* *		* *		* *		* *
	施氮量(N)		* *		* *		* *		NS		* *
	S × N		*		* *		*		NS		* *

注:同列不同小写、大写字母分别表示差异达 P<0.05 和 P<0.01 水平显著; * * 表示差异 1% 水平显著, * 表示差异 5% 水平显著
Note: Different small and capital letters in the same column indicate significant differences at P<0.05 and P<0.01 level, respectively; * * significance at 0.01 level, * significance at 0.05 level

2.4 不同施氮量对早熟油菜产量的影响

10 个试点的田间试验结果表明(表 5),与不施氮处理相比,两个早熟油菜品种丰油 730 和 1358 各施氮处理产量均显著增加。从 10 个试验点的产量比较差异来看,同一处理在不同试点差异较大,但处理间产量大小趋势基本一致,均有随着施氮量的增加产量增加的趋势,施氮量在 0 ~ 180kg · hm⁻² 范围内,增施氮肥产量增加的幅度较大,除南昌、星子试点外,其他 8 个试点均达到显著或极显著水平。南昌、星子两个试验点施氮量为 N0 ~ N120 增产达显著水平,表明氮肥是影响油菜产量的重要因素,施氮能显著提高产量。

但是,施氮量大于 180kg · hm⁻² 以上,即 N210 和 N240 的处理下,除星子试验点外,其他 9 个试点均未达到显著水平;而且 10 个点的平均产量间差异也不显著,表现出增氮不显著增产的现象。说明氮肥用量不是越多越好。

10 个试点的田间试验还表明,两个早熟油菜对氮肥的响应存在差异,丰油 730 的平均产量在 647.61 ~ 1 758.81kg · hm⁻² 范围内,1358 的平均产量在 537.97 ~ 1 555.61kg · hm⁻² 范围内;所有试点同一施氮量水平下早熟杂交油菜丰油 730 的产量均高于早熟常规品系 1358,10 个试点平均产量增幅在 487.14 ~ 1 111.20kg · hm⁻² 之间;两个品种施氮增产趋势是一致的。

对各试点分别采用线性加平台回归模型,拟合油菜产量和施氮量的关系。结果表明(表 6),早熟油菜丰油 730 和 1358 各试验点肥效模型的拟合均达到显著水平。两个早熟品种在各个试验点的推荐用氮量略有差别,丰油 730 为 157 ~ 224kg · hm⁻², 1358 为 159 ~ 199kg · hm⁻²。

2.5 不同施氮量下早熟油菜产油量

10 个试点不同施氮量油菜籽含油率测定结果表明,两个油菜品种均表现为随着施氮量的增加含

表 5 不同施氮量下油菜籽产量
Table 5 Effects of different nitrogen rates on yield of rapeseed / (kg · hm⁻²)

品种 Variety	试验点 Location	N0	N90	N120	N150	N180	N210	N240
丰油 730 Fengyou 730	南昌 Nanchang	983.54 ± 8.79dD	1 401.47 ± 19.72cC	1 520.10 ± 14.55bBC	1 650.75 ± 11.01aAB	1 684.59 ± 19.76aA	1 665.31 ± 35.37aA	1 715.22 ± 17.78aA
	湖口 Hukou	1 079.21 ± 13.92dC	1 327.33 ± 34.74cB	1 389.03 ± 35.69bCB	1 469.07 ± 20.15bB	1 804.24 ± 37.95aA	1 805.90 ± 33.43aA	1 840.92 ± 32.42aA
	泰和 Taihe	507.59 ± 36.11eE	964.87 ± 41.47dD	1 196.45 ± 40.05cC	1 469.70 ± 23.85bB	1 694.91 ± 10.45aA	1 707.32 ± 7.85aA	1 735.22 ± 14.16aA
	永新 Yongxin	509.45 ± 6.31eE	1 027.98 ± 7.03dD	1 376.95 ± 18.53cC	1 623.48 ± 31.04bB	1 790.63 ± 12.88aA	1 800.63 ± 19.65aA	1 844.86 ± 31.56aA
	安福 Anfu	837.09 ± 19.30eD	1 307.32 ± 6.24dC	1 454.06 ± 37.06cC	1 737.54 ± 29.88bB	1 839.25 ± 15.46aA	1 852.59 ± 4.72aA	1 894.28 ± 8.50aA
	万安 Wan'an	478.41 ± 30.15eE	1 051.03 ± 32.30dD	1 240.12 ± 30.60cC	1 388.19 ± 41.37bB	1 566.28 ± 19.15aA	1 568.12 ± 15.11aA	1 607.64 ± 10.63aA
	都昌 Duchang	580.12 ± 27.39eE	950.89 ± 32.78dD	1 338.40 ± 29.93cC	1 558.36 ± 19.72bB	1 710.17 ± 15.35aA	1 716.72 ± 4.91aA	1 735.57 ± 18.97aA
	星子 Xingzi	641.99 ± 11.79eE	1 308.99 ± 31.20dD	1 442.39 ± 23.58cC	1 717.53 ± 31.20bB	1 800.90 ± 35.37abAB	1 792.56 ± 42.51bAB	1 850.93 ± 35.37aA
	袁州 Yuanzhou	458.56 ± 23.58eD	1 092.21 ± 23.58dC	1 267.30 ± 31.20cB	1 375.69 ± 35.37bB	1 700.85 ± 20.42aA	1 710.86 ± 8.17aA	1 735.87 ± 30.84aA
	瑞昌 Ruichang	400.20 ± 26.78eE	915.46 ± 34.90dD	1 108.89 ± 26.26cC	1 467.40 ± 19.30bB	1 591.80 ± 12.20aAB	1 617.48 ± 6.24aA	1 627.65 ± 27.06aA
与不施氮相比增产 Yield increasing compared with N0	平均产量 Average	647.61 ± 20.41eE	1 134.75 ± 26.39dD	1 333.37 ± 28.74cC	1 545.77 ± 26.29bB	1 718.36 ± 19.90aA	1 723.75 ± 17.80aA	1 758.81 ± 22.73aA
			487.14	685.75	898.15	1 070.75	1 076.13	1 111.20
1358	南昌 Nanchang	897.18 ± 4.45cC	1 279.41 ± 18.31bB	1 403.98 ± 33.07abAB	1 465.31 ± 25.14aAB	1 523.12 ± 21.37aA	1 524.24 ± 28.15aA	1 558.34 ± 21.34aA
	湖口 Hukou	905.45 ± 32.68eE	1 213.94 ± 25.82dC	1 355.68 ± 17.80cdBC	1 532.27 ± 8.73bcAB	1 764.22 ± 26.26aA	1 785.89 ± 26.78aA	1 670.84 ± 39.47abA
	泰和 Taihe	374.25 ± 41.60eE	636.40 ± 36.70dD	944.71 ± 17.24cC	1 187.06 ± 37.85bB	1 395.28 ± 17.79aA	1 422.98 ± 12.05aA	1 443.39 ± 11.40aA
	永新 Yongxin	381.39 ± 4.53eE	829.75 ± 24.99dD	1 126.96 ± 8.02cC	1 322.39 ± 25.66bB	1 493.07 ± 27.81aA	1 518.56 ± 8.66aA	1 527.70 ± 9.00aA
	安福 Anfu	787.06 ± 13.13eD	1 267.30 ± 9.43dC	1 345.67 ± 26.78cC	1 462.40 ± 20.96bB	1 664.17 ± 24.96aA	1 670.84 ± 7.07aA	1 684.18 ± 16.51aA
	万安 Wan'an	415.87 ± 22.82eE	996.16 ± 34.95dD	1 199.60 ± 19.61cC	1 292.90 ± 18.27bB	1 440.72 ± 31.55aA	1 468.90 ± 7.88aA	1 473.90 ± 36.34aA
	都昌 Duchang	396.22 ± 14.14fE	814.53 ± 13.17eD	1 023.38 ± 18.72dC	1 228.70 ± 12.44cB	1 435.89 ± 12.95bA	1 458.39 ± 23.20abA	1 478.71 ± 3.61aA
	星子 Xingzi	430.22 ± 41.45eE	1 000.50 ± 35.37dD	1 267.30 ± 31.20cC	1 409.04 ± 31.20bBC	1 534.10 ± 31.20aAB	1 559.11 ± 42.51aAB	1 592.46 ± 23.58aA
	袁州 Yuanzhou	366.85 ± 31.20dD	1 042.19 ± 23.58cC	1 208.94 ± 11.79bB	1 258.96 ± 31.20bB	1 659.16 ± 42.51aA	1 675.84 ± 20.42aA	1 709.19 ± 11.79aA
	瑞昌 Ruichang	425.21 ± 20.42eE	813.74 ± 23.23dD	1 120.56 ± 40.85cC	1 347.34 ± 6.24bB	1 409.04 ± 13.13aAB	1 425.71 ± 17.80aA	1 417.38 ± 4.72aAB
与不施氮相比增产 Yield increasing compared with N0	平均产量 Average	537.97 ± 22.64eE	989.39 ± 24.56dD	1 199.68 ± 22.51cC	1 350.64 ± 21.76bB	1 531.88 ± 24.95aA	1 551.05 ± 19.45aA	1 555.61 ± 17.77aA
			451.42	661.71	812.67	993.90	1 013.07	1 017.64

注:同行不同小写和大写字母分别表示差异达 P<0.05 和 P<0.01 水平显著,下同
Note:Different lowercase and capital letters in the same line indicate significant differences at 0.05 and 0.01 levels, respectively. Same as below

表 6 施氮量(N)与油菜籽粒产量(Y)的关系
Table 6 Relationship between nitrogen application rates and yield of rapeseed

品种 Variety	试验点 Location	直线相关方程 Linear equation
丰油 730 Fengyou730	南昌 Nanchang	Y = 987.994 + 4.455 * N (N < 157.212) Y = 1 688.373 (N ≥ 157.212) R ² = 0.996
	湖口 Hukou	Y = 1 023.541 + 3.645 * N (N < 224.247) Y = 1 840.921 (N ≥ 224.247) R ² = 0.932
	泰和 Taihe	Y = 453.922 + 6.600 * N (N < 192.023) Y = 1 721.274 (N ≥ 192.023) R ² = 0.987
	永新 Yongxin	Y = 472.676 + 7.343 * N (N < 183.858) Y = 1 822.745 (N ≥ 183.858) R ² = 0.989
	安福 Anfu	Y = 818.608 + 5.708 * N (N < 184.798) Y = 1 873.435 (N ≥ 184.798) R ² = 0.991
	万安 Wan'an	Y = 486.286 + 6.146 * N (N < 178.066) Y = 1 580.680 (N ≥ 178.066) R ² = 0.998
	都昌 Duchang	Y = 520.713 + 6.545 * N (N < 184.176) Y = 1 726.145 (N ≥ 184.176) R ² = 0.972
	星子 Xingzi	Y = 645.321 + 7.027 * N (N < 166.426) Y = 1 814.797 (N ≥ 166.426) R ² = 0.995
	袁州 Yuanzhou	Y = 464.139 + 6.618 * N (N < 190.272) Y = 1 723.359 (N ≥ 190.272) R ² = 0.992
	瑞昌 Ruichang	Y = 361.844 + 6.805 * N (N < 185.264) Y = 1 622.566 (N ≥ 185.264) R ² = 0.987
1358	南昌 Nanchang	Y = 909.392 + 3.912 * N (N < 159.980) Y = 1 535.234 (N ≥ 159.980) R ² = 0.991
	湖口 Hukou	Y = 856.070 + 4.613 * N (N < 189.095) Y = 1 728.365 (N ≥ 189.095) R ² = 0.966
	泰和 Taihe	Y = 286.073 + 5.754 * N (N < 199.359) Y = 1 433.185 (N ≥ 199.359) R ² = 0.959
	永新 Yongxin	Y = 349.040 + 6.312 * N (N < 186.009) Y = 1 523.129 (N ≥ 186.009) R ² = 0.991
	安福 Anfu	Y = 798.240 + 4.695 * N (N < 187.278) Y = 1 677.510 (N ≥ 187.278) R ² = 0.992
	万安 Wan'an	Y = 432.378 + 6.042 * N (N < 170.274) Y = 1 461.174 (N ≥ 170.274) R ² = 0.994
	都昌 Duchang	Y = 358.068 + 5.756 * N (N < 192.927) Y = 1 468.556 (N ≥ 192.927) R ² = 0.992
	星子 Xingzi	Y = 427.915 + 6.654 * N (N < 170.420) Y = 1 561.890 (N ≥ 170.420) R ² = 0.996
	袁州 Yuanzhou	Y = 380.065 + 6.733 * N (N < 194.928) Y = 1 692.515 (N ≥ 194.928) R ² = 0.981
	瑞昌 Ruichang	Y = 382.445 + 6.047 * N (N < 171.146) Y = 1 417.377 (N ≥ 171.146) R ² = 0.980

油率呈降低的趋势,丰油 730 和 1358 两个品种平均含油率分别下降 1.76% 和 3.14%。单位面积产量虽随施氮量的增加而增加,但由于单位面积产量增量和含油率减量的差异,单位面积的产油量在各个试验点的情况发生了较大变化(表 7),但均呈现一定的规律,9 个试验点均表现为施氮量在 0~180kg·hm⁻² 范围内(南昌点为 0~150kg·hm⁻²),增施氮肥产油量增加的幅度较大,均达到显著或极显著水平;但施

氮量在 180kg·hm⁻² 以上,即 N180~N240 处理间均未达到显著差异水平,且大部分试验点增施氮肥产油量有降低的趋势,因此就产油量而言 150~180kg·hm⁻² 为最适施氮量。说明在一定氮肥施用量范围内,增施氮肥不仅可以提高油菜籽产量,也有减少因增施氮肥降低油分含量的作用。因此,可以通过调控氮肥施用量来协调单位面积产量和产油率从而达到最佳单位面积产油量。

表 7 不同施氮量对油菜籽产油量的影响

Table 7 Effects of different nitrogen rates on oil yield of rapeseed/(kg·hm⁻²)

品种 Variety	试验点 Location	N0	N90	N120	N150	N180	N210	N240
丰油 730 Fengyou 730	南昌 Nanchang	418.00±1.93dD	587.87±9.31cC	643.56±2.61bB	684.18±9.83aA	700.62±14.80aA	679.89±4.74abA	696.67±4.30aA
	湖口 Hukou	464.28±9.99eE	580.3±20.66dD	612.70±14.63cC	649.62±10.85bB	786.65±20.58aA	781.77±7.46aA	793.44±6.08aA
	泰和 Taihe	202.51±12.68eE	366.26±24.75dD	458.24±0.33cC	566.57±14.75bB	620.79±15.33aA	623.06±11.86aA	618.09±13.67aA
	永新 Yongxin	216.86±7.24fF	437.58±11.30eE	555.46±9.59dD	701.40±4.29cC	761.91±10.44aA	748.34±11.67bB	771.77±15.22aA
	安福 Anfu	353.39±13.12eE	552.78±1.61dD	600.24±21.32cC	725.42±6.53bB	754.40±21.24aA	763.88±8.51aA	778.68±8.93aA
	万安 Wan'an	198.40±11.87eE	432.95±16.78dD	505.80±15.17cC	554.77±14.78bB	645.93±11.24aA	627.51±6.84aA	649.75±4.52aA
	都昌 Duchang	255.30±11.40eE	416.05±11.52dD	583.19±18.89cC	664.93±15.37bB	730.47±10.63aA	730.38±6.85aA	733.39±12.77aA
	星子 Xingzi	275.69±3.02fF	555.14±11.59eE	580.85±11.63dD	689.70±9.76cC	743.89±9.22aA	702.74±17.93bB	706.75±15.65bB
	袁州 Yuanzhou	195.65±9.93eE	468.81±12.23dD	542.74±17.99cC	591.82±16.44bB	726.04±16.70aA	725.01±7.75aA	726.23±17.58aA
	瑞昌 Ruichang	180.45±12.86eE	413.67±12.90dD	499.26±17.91cC	654.07±16.36bB	703.47±13.37aA	714.12±19.98aA	712.31±12.18aA
平均产量 Average oil yield		276.13±9.40eE	481.07±13.26dD	558.48±13.01cC	648.53±11.90bB	717.46±14.36aA	709.66±10.36aA	718.88±11.09aA
与不施氮相比增产 Oil yield increasing compared with N0			204.94	282.35	372.40	441.33	433.53	442.75
1358	南昌 Nanchang	390.39±5.62dD	541.40±6.20cC	594.87±7.06bB	610.01±12.61abAB	636.05±15.42aA	621.59±11.17aA	643.70±5.54aA
	湖口 Hukou	398.67±10.42fF	561.37±11.94eE	611.05±6.07dD	677.57±19.30cC	776.32±9.78aA	784.18±13.07aA	728.71±11.98bB
	泰和 Taihe	161.03±19.03eE	254.16±13.04dD	375.30±5.36cC	476.37±23.95bB	550.81±9.02aA	546.19±22.14aA	556.33±7.53aA
	永新 Yongxin	173.62±16.00fF	368.05±16.43eE	491.20±12.42dD	601.1±15.586bB	647.20±17.77aA	668.57±7.55aA	594.58±5.66cC
	安福 Anfu	345.07±14.34dD	542.28±14.76cC	599.36±21.02bB	608.70±14.56bB	689.19±13.50aA	714.62±5.74aA	693.77±8.39aA
	万安 Wan'an	182.64±10.58eE	432.07±17.89dD	478.72±17.93cC	557.15±14.43bB	614.66±17.15aA	569.10±17.69abAB	573.30±16.97aA
	都昌 Duchang	181.50±4.10eE	374.07±10.54dD	463.80±4.62cC	547.18±11.68bB	653.76±6.97aA	641.47±5.85aA	628.33±2.75aA
	星子 Xingzi	182.07±15.30eE	411.87±14.58dD	532.31±13.86cC	581.14±14.35bB	609.55±10.40aA	612.89±17.17aA	602.32±4.59aA
	袁州 Yuanzhou	156.85±9.38eE	431.99±16.71dD	501.63±13.42cC	526.25±8.51cC	700.28±18.88aA	688.10±12.78bB	725.67±4.09aA
	瑞昌 Ruichang	201.48±7.09eE	373.56±2.01dD	505.82±8.98cC	616.63±11.20bB	652.20±1.08aA	638.81±8.25aA	644.58±11.31aA
平均产量 Average oil yield		237.85±11.19eE	428.87±12.41dD	514.85±11.07cC	580.10±14.62bB	653.22±12.00aA	647.99±12.14aA	638.92±7.88aA
与不施氮相比增产 Oil yield increasing compared with N0			191.02	277.00	342.25	415.37	410.14	401.07

2.6 不同施氮量早熟油菜的效益

表 8 为不同施氮量油菜的效益表现。按 2013 年市场油菜籽售价 5.0Yuan·kg⁻¹, N 5.0Yuan·kg⁻¹, P₂O₅ 5Yuan·kg⁻¹, K₂O 7.33Yuan·kg⁻¹, B 5.0Yuan·kg⁻¹ 计算,10 个试验点丰油 730 和 1358 两个品种施氮处理经济效益均显著高于对照不施氮肥处理,且均有随施氮水平的提高效益呈先增加后

降低的趋势,10 个试验点两个品种均表现在 N180 处理增加的效益最大,与不施氮相比平均分别增加 4 453.73Yuan·hm⁻² 和 3 521.30Yuan·hm⁻²。说明在双季稻区早熟直播油菜生产中,进行氮肥优化管理,调控氮肥用量可以最大限度地发挥油菜产量优势的形成及效益的提升。

表 8 油菜不同施氮量处理的效益比较
Table 8 Profit of rapeseed under different nitrogen rates / (Yuan · hm⁻²)

品种 Variety	试验点 Location	N0	N90	N120	N150	N180	N210	N240
丰油 730 Fengyou 730	南昌 Nanchang	4 917. 72 ± 43. 96dD	7 007. 35 ± 98. 59cC	7 600. 49 ± 72. 73bBC	8 253. 74 ± 55. 07aAB	8 422. 95 ± 98. 79aA	8 326. 56 ± 176. 83aA	8 576. 10 ± 88. 90aA
	湖口 Hukou	5 396. 03 ± 69. 60dC	6 636. 65 ± 173. 69cB	6 945. 14 ± 178. 43bCB	7 345. 34 ± 100. 74bB	9 021. 18 ± 189. 76aA	9 029. 51 ± 167. 17aA	9 204. 60 ± 162. 10aA
	泰和 Taihe	2 537. 94 ± 180. 55eE	4 824. 33 ± 207. 36dD	5 982. 24 ± 200. 25cC	7 348. 51 ± 119. 25bB	8 474. 57 ± 52. 23aA	8 536. 60 ± 39. 26aA	8 676. 09 ± 70. 78aA
	永新 Yongxin	2 547. 27 ± 31. 53eE	5 139. 90 ± 35. 13dD	6 884. 77 ± 92. 67cC	8 117. 39 ± 155. 21bB	8 953. 14 ± 64. 40aA	9 003. 17 ± 98. 26aA	9 224. 28 ± 157. 79aA
	安福 Anfu	4 185. 43 ± 96. 51eD	6 536. 60 ± 31. 20dC	7 270. 30 ± 185. 31cC	8 687. 68 ± 149. 38bB	9 196. 26 ± 77. 32aA	9 262. 96 ± 23. 58aA	9 471. 40 ± 42. 51aA
	万安 Wan'an	2 392. 03 ± 150. 76eE	5 255. 13 ± 161. 49dD	6 200. 60 ± 152. 98cC	6 940. 97 ± 206. 87bB	7 831. 41 ± 95. 73aA	7 840. 59 ± 75. 57aA	8 038. 18 ± 53. 15aA
	都昌 Duchang	2 900. 58 ± 136. 95eE	4 754. 43 ± 163. 89dD	6 691. 98 ± 149. 63cC	7 791. 78 ± 98. 60bB	8 550. 84 ± 76. 76aA	8 583. 58 ± 24. 57aA	8 677. 83 ± 94. 83aA
	星子 Xingzi	3 209. 94 ± 58. 96eE	6 544. 94 ± 155. 98dD	7 211. 94 ± 117. 91cC	8 587. 63 ± 155. 98bB	9 004. 50 ± 176. 87abAB	8 962. 81 ± 212. 57bAB	9 254. 63 ± 176. 87aA
	袁州 Yuanzhou	2 292. 81 ± 117. 91eD	5 461. 06 ± 117. 91dC	6 336. 50 ± 155. 98cB	6 878. 44 ± 176. 87bB	8 504. 25 ± 102. 11aA	8 554. 28 ± 40. 85aA	8 679. 34 ± 154. 19aA
	瑞昌 Ruichang	2 001. 00 ± 133. 92eE	4 577. 29 ± 174. 49dD	5 544. 44 ± 131. 30cC	7337. 00 ± 96. 51bB	7 958. 98 ± 60. 99aAB	8 087. 38 ± 31. 20aA	8 138. 23 ± 135. 32aA
	平均产值 Income	3 238. 07 ± 102. 06fF	5 673. 77 ± 131. 97eE	6 666. 84 ± 143. 72dD	7 728. 85 ± 131. 45cC	8 591. 81 ± 99. 50bB	8 618. 74 ± 88. 99bB	8 794. 07 ± 113. 64aA
	肥料成本 Fertilizer cost	994. 20	1 444. 20	1 594. 20	1 744. 20	1 894. 20	2 044. 20	2 194. 20
	经济效益 Profit	2 243. 87	4 229. 57	5 072. 64	5 984. 65	6 697. 61	6 574. 54	6 599. 87
	与不施氮相比增效 Profit increasing compared with N0		1 985. 69	2 828. 76	3 740. 77	4 453. 73	4 330. 67	4 355. 99
1358	南昌 Nanchang	4 485. 92 ± 22. 24cC	6 397. 06 ± 91. 55bB	7019. 90 ± 165. 34abAB	7 326. 57 ± 125. 68aAB	7 615. 60 ± 106. 83aA	7 621. 20 ± 140. 75aA	7 791. 70 ± 106. 68aA
	湖口 Hukou	4 527. 26 ± 163. 38eE	6 069. 70 ± 129. 12dC	6 778. 39 ± 89. 02cdBC	7 661. 33 ± 43. 66bcAB	8 821. 08 ± 131. 30aA	8 929. 46 ± 133. 92aA	8 354. 18 ± 197. 34abA
	泰和 Taihe	1 871. 27 ± 208. 01eE	3 182. 01 ± 183. 50dD	4 723. 53 ± 86. 21cC	5 935. 30 ± 189. 27bB	6 976. 40 ± 88. 94aA	7 114. 89 ± 60. 26aA	7 216. 94 ± 57. 01aA
	永新 Yongxin	1 906. 95 ± 22. 64eE	4 148. 74 ± 124. 97dD	5 634. 82 ± 40. 12cC	6 611. 97 ± 127. 82bB	7 465. 33 ± 139. 03aA	7 592. 79 ± 43. 32aA	7 638. 48 ± 44. 99aA
	安福 Anfu	3 935. 30 ± 65. 65eD	6 336. 50 ± 47. 16dC	6 728. 36 ± 133. 92cC	7 311. 99 ± 104. 80bB	8 320. 83 ± 124. 78aA	8 354. 18 ± 35. 37aA	8 420. 88 ± 82. 54aA
	万安 Wan'an	2 079. 37 ± 114. 10eE	4 980. 82 ± 174. 73dD	5 998. 00 ± 98. 03cC	6 464. 48 ± 91. 34bB	7 203. 60 ± 157. 77aA	7 344. 50 ± 39. 41aA	7 369. 52 ± 181. 68aA
	都昌 Duchang	1 981. 11 ± 70. 68fE	4 072. 63 ± 65. 83eD	5 116. 88 ± 93. 62dC	6 143. 49 ± 62. 22cB	7179. 43 ± 64. 76bA	7 291. 94 ± 115. 98abA	7 393. 57 ± 18. 03aA
	星子 Xingzi	2 151. 08 ± 207. 27eE	5 002. 50 ± 176. 87dD	6 336. 50 ± 155. 98cC	7 045. 19 ± 155. 98bBC	7 670. 50 ± 155. 98aAB	7 795. 56 ± 212. 57aAB	7 962. 31 ± 117. 91aA
	袁州 Yuanzhou	1 834. 25 ± 155. 98dD	5 210. 94 ± 117. 91cC	6 044. 69 ± 58. 96bB	6 294. 81 ± 155. 98bB	8 295. 81 ± 212. 57aA	8 379. 19 ± 102. 11aA	8 545. 94 ± 58. 96aA
	瑞昌 Ruichang	2 126. 06 ± 102. 11eE	4 068. 70 ± 116. 13dD	5 602. 80 ± 204. 23cC	6 736. 70 ± 31. 20bB	7 045. 19 ± 65. 65aB	7 128. 56 ± 89. 02aA	7 086. 88 ± 23. 58aAB
	平均产值 Income	2 689. 86 ± 113. 21eE	4 946. 96 ± 122. 78dD	5 998. 39 ± 112. 54cC	6 753. 18 ± 108. 80bB	7 659. 38 ± 124. 76aA	7 755. 23 ± 97. 27aA	7 778. 04 ± 88. 87aA
	肥料成本 Fertilizer cost	994. 20	1 444. 20	1 594. 20	1 744. 20	1 894. 20	2 044. 20	2 194. 20
	经济效益 Profit	1 695. 66	3 502. 76	4 404. 19	5 008. 98	5 765. 18	5 711. 03	5 583. 84
	与不施氮相比增效 Profit increasing compared with N0		1 258. 88	2 160. 31	2 765. 11	3 521. 30	3 467. 15	3 339. 96

3 讨论

合理运筹氮肥是实现作物高产的重要措施。氮肥的施用量和植物的吸氮量并不完全呈正相关,在一定的范围内作物对肥料氮的吸收随着施氮量的增加而增加,但是超过一定量后,随着施氮量的继续增加,作物吸氮量增加的幅度变小,甚至降低,同时氮的回收率随着施氮量的增加而降低,损失率和损失量增加^[19~21],不仅收益降低,还浪费资源甚至造成环境污染^[22]。

油菜作为中国重要的油料作物之一,也是需氮量较多的作物之一,江西作为中国油菜和双季水稻种植的大省之一,通过研究轻简高效栽培条件下双季稻区稻田早熟迟直播油菜氮肥用量对扩种稻田冬

油菜、增加油菜种植面积,拓宽农民增收渠道,改善耕地土壤肥力水平具有重要的意义^[23~25]。

本研究通过在江西省双季稻区 10 个县(市)的 7 个氮肥用量处理开展早熟迟直播油菜栽培田间小区试验表明,早熟油菜的施氮效应基本同中晚熟油菜一致,施氮显著提高了油菜产(油)量、干物质积累量和效益,两个早熟品种丰油 730 和 1358 平均产(油)量增幅均在 75% 以上,效益增幅达 80% 以上,但当施氮量高于 180kg · hm⁻²,增施氮肥的增产效应不显著,产油量和经济效益则明显降低。

作物的产量与氮素吸收利用密切相关。许多研究指出,提高作物产量是以提高植株吸氮量为基础的。施氮量对作物氮素吸收和利用的影响存在差异,随施氮量提高,利用效率在决定氮素利用率中比

吸收效率更为重要;高氮条件下,利用效率的下降,主要来自于氮素收获指数的下降^[26,27]。

已有研究表明,不同施氮处理作物氮肥利用效率有所不同,高氮供应时利用率较低^[28~31]。本研究也证实油菜产量随着施氮量的增加而增加,氮肥利用率和氮肥农学利用率随施氮量的增加呈先增后降的趋势,氮素吸收效率、氮肥偏生产力和氮收获指数随施氮量的增加而降低。说明适宜的施氮量是提高氮肥利用率的有效途径之一。施氮量太低不能充分发挥油菜产量潜力,不利于作物产量形成,而高氮又可能会因为油菜对氮素的奢侈吸收,过量氮素伴随高呼吸消耗而加剧病虫害危害和贪青倒伏,从而降低油菜籽粒产量^[32],施氮量的增减必须以同时大幅度提高作物产量和氮肥利用率为目标^[33]。

本研究 10 个试点的大田试验产量与施氮量线性加平台回归模型拟合结果表明,早熟油菜丰油 730 和 1358 各试验点肥效模型的拟合均达到显著水平,两个早熟品种在绝大多数试验点的推荐用氮量在 $180\text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 左右。氮肥吸收利用结果进一步表明两个早熟品种施氮 $150\text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 处理和 $180\text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 处理间氮肥农学利用率差异未达到显著水平,与其他处理间差异均达到显著水平,且显著高于其他处理。因此,为协调产量和氮肥利用率之间的矛盾,从我国目前的情况来看,需要在保持高产稳产的前提下科学合理施肥,做到高产和氮肥高效利用兼顾。

提高复种指数是确保中国粮油安全的重要举措之一,而提高复种指数的重要途径是扩大多熟种植的面积^[34]。实行多熟种植模式是充分利用自然资源和 提高产量的重要途径^[35]。油菜是中国重要的油料作物之一,提高油菜产量是保障中国植物食用油安全供给的有效途径。通过研究攻关,油菜单产已取得了较大提高,但提高的幅度不大,平均每年提高不到 $8\text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 。因此,仅仅依靠提高单产在短期内增加总产量非常困难,如果利用双季稻区冬闲稻田种植早熟油菜来扩大种植面积则可迅速增加油菜籽总产。就本研究而言,无论是常规品系还是杂 交品种,早熟油菜单产比较低,在合理氮肥施用下,早熟杂交品种丰油 730 单产在 $1\,700\text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 左右,早熟常规品系 1358 单产在 $1\,500\text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 左右,但按照本研究的早熟油菜单产 $1\,500\sim1\,700\text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$,全国双季稻区可扩大油菜种植面积 $2\times10^6\text{hm}^2$ 计算^[2],全国可增加菜籽 $3\times10^6\text{t}$ 以上,是全国现有菜籽总产量的四分之一多,可有效减缓国内食用植物油供给的问题。同时,冬闲稻田通过种植

油菜,有利于充分利用土壤资源和气候资源,还可以改善土壤肥力提高后作水稻产量,对发展我国粮油生产和三熟制农业具有重要的意义。

4 结 论

早熟油菜单产比中晚熟品种单产低,早熟杂交品种单产比早熟常规品系高,合理氮肥施用下产量分别在 $1\,700\text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 和 $1\,500\text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 左右,利用双季稻区冬闲稻田种植早熟油菜来扩大种植面积可增加油菜籽总产,有效减缓国内食用植物油有效供给的问题。综合考虑油菜籽粒产(油)量、干物质积累量、经济效益、氮素利用率及转运规律,在目前生产水平下,江西双季稻区冬闲稻田早熟迟直播油菜生产氮肥用量 $150\sim180\text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 比较适宜。

参考文献:

[1] 江西省统计局,国家统计局江西调查总队. 江西统计年鉴[M]. 北京:中国统计出版社,2014.

[2] 官春云,陈社员,吴明亮. 南方双季稻区冬油菜早熟品种选育和机械栽培研究进展[J]. 中国工程科学, 2010,12(2): 4-10.

[3] 刘后利. 实用油菜栽培学[M]. 上海:上海科学技术出版社,1987. 235-251.

[4] Narits L. Effect of nitrogen rate and application time to yield and quality of winter oilseed rape (*Brassica napus* L. var. *oleifera* subvar. *biennis*) [J]. Agronomic Research, 2010, 8(Special Issue III):671-686.

[5] 赵继献,程国平,任廷波,等. 不同氮水平对优质甘蓝型黄籽杂交油菜产量和品质性状的影响[J]. 植物营养与肥料学报,2007,13(5):882-889.

[6] 李志玉,郭庆元,廖 星,等. 不同氮水平对双低油菜中双 9 号产量和品质的影响[J]. 中国油料作物学报, 2007,29(2):78-82.

[7] 邹小云,陈伦林,李书宇,等. 氮、磷、钾、硼肥施用对甘蓝型杂交油菜产量及经济效益的影响[J]. 中国农业科学,2011,44(5):917-924.

[8] 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.

[9] 宋海星,官春云,刘 强,等. 施氮对双低油菜吸氮特性及氮素生理效率的影响[J]. 水土保持学报,2006, 20(4):106-109.

[10] Schjoerring J K, Bock J G H, Gammelvind L, et al. Nitrogen incorporation and remobilization in different shoot components of field-grown winter oilseed rape (*Brassica napus* L.) as affected by rate of nitrogen application and irrigation[J]. Plant Soil,1995,177:255-264.

[11] 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 - 421.
- [12] Liu B L, Zou X Y, Song L Q, et al. Effects of nitrogen fertilizer reduction and application of nitrogen fertilizer as base fertilizer on rapeseed yield and nitrogen absorption[J]. Agricultural Science & Technology, 2013, 14(1): 116 - 121, 126.
- [13] 鲍士旦. 土壤农化分析[M]. 北京: 中国农业出版社, 2000.
- [14] 张福锁, 王激清, 张卫峰, 等. 中国主要粮食作物肥料利用率现状与提高途径[J]. 土壤学报, 2008, 45(5): 915 - 924.
- [15] 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.
- [16] Cassman K G, Peng S, Olk D C, et al. Opportunities for increased nitrogen use efficiency from improved resource management in irrigated rice systems[J]. Field Crops Research, 1998, 56: 27 - 39.
- [17] Peng S, Buresh R J, Huang J L, et al. Strategies for overcoming low agronomic nitrogen use efficiency in irrigated rice systems in China[J]. Field Crops Research, 2006, 96: 37 - 47.
- [18] 李 利, 樊明寿. 利用 SPSS 进行作物产量与施肥量关系的线性加平台回归模型拟合[A]. 面向未来的土壤科学(下册)——中国土壤学会第十二次全国会员代表大会暨第九届海峡两岸土壤肥料学术交流研讨会论文集[C]. 2012. 1 690 - 1 695.
- [19] 王永军, 王空军, 董树亭, 等. 施氮对墨西哥玉米植株硝态氮累积及产量的影响[J]. 作物学报, 2006, 32(3): 345 - 350.
- [20] 党廷辉, 蔡贵信, 郭胜利, 等. 黄土旱塬黑垆土 - 冬小麦系统中尿素氮的去向及增产效果[J]. 土壤学报, 2002, 39(2): 199 - 205.
- [21] Sainz H R, Echeverria H E, Barbie A. Nitrogen balance as affected by application time and nitrogen fertilizer rate in irrigated no - tillage maize [J]. Agronomic Journal, 2004, 96: 1 622 - 1 631.
- [22] Guo J H, Liu X J, Zhang Y, et al. Significant acidification in major Chinese croplands[J]. Science, 2010, 327(5 968): 1 008 - 1 010.
- [23] 陈社员, 官春云, 王国槐, 等. 稻田三熟制油菜简化栽培技术研究 I. 不同播种量对稻板茬撒播油菜生长发育和产量的影响[J]. 作物研究, 1996, 10(2): 19 - 21.
- [24] 肖国滨, 叶 川, 刘小三, 等. 江西红壤稻田三熟制油菜简化施肥效应研究[J]. 江西农业学报, 2011, 23(5): 106 - 108.
- [25] 宋来强. 江西油料作物产业发展报告[M]. 南昌: 江西科学技术出版社, 2011.
- [26] Dhugga K S, Waines J G. Analysis of nitrogen accumulation and use in bread and durum wheat[J]. Crop Science, 1989, 29(5): 1 232 - 1 239.
- [27] Van - Sanford D A, MacKown C T. Cultivar differences in nitrogen remobilization during grain fill in soft red winter wheat [J]. Crop Science, 1987, 27(2): 295 - 300.
- [28] Barlóg P, Grzebisz W. Effect of timing and nitrogen fertilizer application on winter oilseed rape (*Brassica napus* L.). I. Growth dynamics and seed yield[J]. Journal Agronomica Crop Science, 2004, 190: 305 - 313.
- [29] Rathke G W, Christen O, Diepenbrock W. Effects of nitrogen source and rate on productivity and quality of winter oilseed rape (*Brassica napus* L.) grown in different crop rotations[J]. Field Crops Research, 2005, 94: 103 - 113.
- [30] Brennan R F, Bolland M D A. Influence of potassium and nitrogen fertilizer on yield, oil and protein concentration of canola (*Brassica napus* L.) grain harvested in south - western Australia[J]. Australian Journal Experimental Agriculture, 2007, 47: 976 - 983.
- [31] Brennan R F, Bolland M D A. Effect of fertilizer phosphorus and nitrogen on the concentrations of oil and protein in grain yield of canola (*Brassica napus* L.) grown in south - western Australia[J]. Australian Journal Experimental Agriculture, 2007, 47: 984 - 991.
- [32] 任廷波, 赵继献. 氮肥对黄籽双低杂交油菜菌核病的影响[J]. 贵州农业科学, 2005, 33(6): 43 - 44.
- [33] 王伟妮, 鲁剑巍, 鲁明星, 等. 湖北省早、中、晚稻施氮增产效应及氮肥利用率研究[J]. 植物营养与肥料学报, 2011, 17(3): 545 - 553.
- [34] 王立祥, 王明洁, 李 军. 略论我国粮食生产与安全保障[J]. 干旱地区农业研究, 2005, 23(4): 1 - 6.
- [35] 孙卫民, 黄国勤, 程建峰, 等. 江西省双季稻田多作复合种植系统的能值分析[J]. 中国农业科学, 2014, 47(3): 514 - 527.

(责任编辑: 郭学兰)