

氮肥与密度互作对红壤旱地秋芝麻的影响

汪瑞清, 肖运萍, 吕丰娟, 魏林根*, 袁展汽, 刘仁根, 林洪鑫

(江西省农业科学院土壤肥料与资源环境研究所, 农业部长江中下游作物

生理生态与耕作重点实验室, 国家红壤改良工程技术研究中心, 江西 南昌, 330200)

摘要:为提高红壤旱地秋芝麻的产量、品质和氮肥利用率,以赣芝5号为供试品种,设3个密度(D_1 22.5万株/ hm^2 、 D_2 30.0万株/ hm^2 、 D_3 37.5万株/ hm^2)和4个氮肥水平(N_0 0、 N_1 52.5kg/ hm^2 、 N_2 105.0kg/ hm^2 、 N_3 157.5kg/ hm^2),分别于2014年在江西省东乡县和2015年在进贤县进行田间小区试验,研究施氮量和种植密度对芝麻产量、品质及氮肥利用率的影响。结果表明,两年两地均表现为 N_2 条件下芝麻产量较 N_0 显著增加(分别增加49.82%和76.53%)。2014年东乡点 D_3 处理的芝麻产量较 D_1 处理显著增加18.44%,但2015年进贤点较 D_1 显著减少12.35%。随着氮肥用量的增加芝麻籽粒含油量呈现先增加后降低的趋势,蛋白质含量则呈现逐渐增加的趋势;施用氮肥显著减少了17.8%~20.0%的芝麻素含量,而对芝麻林素无显著影响。随着密度的增加芝麻单株蒴果数和千粒重都随之降低,而不同密度对芝麻品质无明显影响; N_2 水平时,不同密度处理的氮肥农学利用率和偏生产力稳定在3.29~4.84和9.89~11.17kg/kg。综上所述,红壤旱地芝麻适宜氮肥用量为105kg/ hm^2 ,进贤县及其周边区域的单籽型品种适宜密度为22.5万株/ hm^2 ,而东乡县及其周边区域适宜密度为37.5万株/ hm^2 ,能够达到高产优质的目的,值得在红壤旱地上大面积应用推广。

关键词: 氮肥; 密度; 产量; 品质; 芝麻

中图分类号: S565.3 文献标识码: A 文章编号: 1007-9084(2017)04-0502-07

Effect of nitrogen and density interaction on autumn sesame (*Sesamum indicum* L.) grown in upland red soil

WANG Rui-qing, XIAO Yun-ping, LYU Feng-juan, WEI Lin-gen*,

YUAN Zhan-qi, LIU Ren-gen, LIN Hong-xin

(Soil Fertilizer and Resources Environment Institute, Jiangxi Academy of Agricultural Sciences, Key Laboratory of Crop Ecophysiology and Farming System for the Middle and Lower Reaches of the Yangtze River, Ministry of Agriculture, National Engineering Technology Research Center for Red Soil Improvement, Nanchang 330200, China)

Abstract: To improve autumn sesame yield, quality and nitrogen use efficiency on upland red soil, field trails were carried out to study the effects of nitrogen and plant density on autumn sesame. Sesame cultivar Ganzhi 5 was used under 3 density (D_1 2.25×10^5 , D_2 3.00×10^5 , D_3 3.75×10^5 plants per hectare) and 4 nitrogen levels (N_0 0, N_1 52.5, N_2 105.0, N_3 157.5 kg per hectare) at Dongxiang and Jinxian counties of Jiangxi Province in 2014 and 2015 respectively. Results indicated that yield of D_2 and D_3 were increased by 49.82% and 76.53% (compared to N_0) under N_2 in 2014 and 2015 respectively. Yield of D_3 was significantly increased by 18.44% (compared to D_1) in 2014, but was significantly reduced by 12.35% (compared to D_1) in 2015. As nitrogen fertilizer usage increased, sesame oil content increased first, then decreased; protein content increased, and sesamin content reduced significantly by 17.8% - 20.0%. As density increased, sesame capsule number per plant and 1000-seed weight reduced. Nitrogen agronomy efficiency and partial factor productivity efficiency maintained at 3.29 - 4.84 and 9.89 - 11.17 kg/kg under N_2 treatment. In conclusion, D_1 was optimum in Jinxian, D_3 was optimum in

Dongxiang, and N₂ was optimum to all upland red soil.

Key words: sesame (*Sesamum indicum* L.); nitrogen; density; yield; quality

芝麻是我国一种古老的优质特色油料作物,其种子含油量大约为 54%。芝麻油不但具有很高的营养价值,而且籽粒中的抗氧化物质芝麻素、芝麻林素、芝麻酚都具有十分明显的医疗保健作用。

2015 年芝麻全国种植面积为 42.13 万公顷,其中江西省芝麻种植面积为 3.07 万公顷;江西黑芝麻种植面积占全省总面积的 70% 以上,主要分布在进贤县、鄱阳县、都昌县、东乡县等地^[1-3]。2015 年江西省芝麻平均产量为 1 173 kg/hm²,较全国平均水平 1 519 kg/hm² 低 22.8%^[2,3],主要原因是江西以黑芝麻为主,同时以秋芝麻占多数,黑芝麻和秋芝麻产量都要低于白芝麻和夏芝麻;也与肥料施用水平、比例、方法不当,以及种植管理粗放有关。目前,有关芝麻氮肥适宜量的研究有少量的报道,如卫双玲等^[4]在壤质潮土条件下结果表明白芝麻最佳施氮量为 123.09 kg/hm²,而黑芝麻最佳施氮量为 133.92 kg/hm²。李中秀^[5]和李亚贞^[6]等人对秋播黑芝麻品种赣芝 5 号和赣芝 8 号的研究结果都表明红壤旱地施纯氮 120 kg/hm² 时芝麻产量最高,最佳施氮量为 80 ~ 120 kg/hm²。

种植密度也被认为是影响芝麻产量的主要因素之一,密度过小或过大都不利于芝麻产量的提高^[7]。红壤旱地芝麻种植密度在 15 万 ~ 24 万株/hm² 范围时芝麻产量相对较高,且秋芝麻的种植密度要大于夏芝麻^[8,9]。芝麻粗脂肪含量与粗蛋白质含量存在负相关,且施用氮肥均有提高芝麻粗脂肪含量和粗蛋白质含量的趋势^[10]。随着氮肥用量的增加氮肥农学利用率都呈现下降趋势,白芝麻表现为从 1.66 降为 0.82 kg/kg,而黑芝麻表现为从 1.71 降为 0.96 kg/kg^[4]。目前,关于氮肥和密度互作对秋芝麻产量的影响报道较少,尤其对芝麻品质的影响研究还尚未见报道。本文通过氮肥与密度的互作试验,探究两个因子对红壤旱地芝麻产量、品质及其氮肥利用率的影响规律,得出红壤旱地的合理施氮量与适宜密度,优化芝麻群体结构和生态效应,为提高芝麻产量和品质提供理论依据,这对江西乃至全国的芝麻产业可持续发展具有十分重要意义。

1 材料与方法

1.1 试验设计

2014 年试验地点为江西省东乡县渊山岗

(28.18°N, 116.57°E), 土壤基础肥力: pH 5.5, 全氮 1.2 g/kg, 速效磷 12 mg/kg, 速效钾 63 mg/kg; 2015 年试验地点为江西省进贤县罗溪镇(28.38°N, 116.19°E), 土壤基础肥力: pH 5.7, 全氮 1.3 g/kg, 速效磷 15 mg/kg, 速效钾 75 mg/kg。2 年试验品种都为赣芝 5 号(种皮黑色、单秆、单花、四棱), 由江西省农业科学院作物研究所提供。尿素作为氮源(N 46.0%), 由中化集团生产; 钙镁磷肥作为磷源(P₂O₅ 12%), 由江西磷肥厂生产; 氯化钾作为钾源(K₂O 60%), 由中化集团生产; 硼砂作为硼源(B 10%) 由辽宁省大石桥市兴鹏复合肥有限公司生产。

田间试验采用双因素完全随机区组设计, 种植密度为 3 个水平, 分别为 22.5 万、30 万和 37.5 万株/hm², 对应的小区行数分别为 6、7、8 行(厢面宽 2 m)。氮肥用量设 4 个水平, 分别为 0 (N₀)、52.5 (N₁)、105.0 (N₂)、157.5 kg/hm² (N₃), 12 个处理和 3 次重复, 合计 36 个小区, 小区面积为 12 m² (2 m × 6 m), 试验小区四周种植 1.5 m 保护行。氮肥和钾肥的基追肥比例都为 6:4。磷肥和硼肥用量分别为 52.5 和 7.5 kg/hm², 且作为基肥一次性施入土壤, 追肥时期为芝麻现蕾期。其他田间管理同一般高产大田。2014 年试验播期为 7 月 1 日, 成熟和收获日期除无氮处理是 9 月 25 日外, 其余处理都是 9 月 27 日。2015 年试验播期为 6 月 26 日, 成熟和收获日期除无氮处理是 9 月 22 日外, 其余处理都是 9 月 25 日。

1.2 指标测定与方法

产量和产量构成因素如单株蒴果数、每蒴粒数、千粒重等指标调查标准参考国家芝麻区域试验方案。含油量测定方法参考 GB/T 5512 - 2008 (粮油检验 粮食中粗脂肪含量测定), 蛋白质测定方法参考 GB/T 14489.2 - 2008 (粮油检验 植物油料粗蛋白质的测定), 芝麻素和芝麻林素测定方法参考 NY/T 1595 - 2008 (芝麻中芝麻素含量的测定 高效液相色谱法)。品质指标由国家芝麻产业技术体系(河南工业大学粮油食品学院)汪学德教授团队测定并提供。

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

氮肥偏生产力 (kg/kg N) = 施氮区产量 / 施氮量。

1.3 数据统计分析

所有数据采用 Microsoft office Execl 2007 进行

整理,并采用 SAS8.0 分析软件进行双因素方差分析,处理间多重比较采用 LSD 法。采用数据作图软件 Origin 8.0 作氮肥农学利用率和偏生产力的矩形图。

2 结果与分析

2.1 密度和氮肥施用量对秋芝麻产量的影响

不同密度下,增施氮肥产量上升(表 1)。两年的芝麻产量变化规律都表现为中低氮时(N_0 、 N_1 、 N_2)随着氮肥用量的增加而增加,且 N_0 和 N_1 、 N_2 、 N_3 处理间都有显著差异。2014 年东乡和 2015 年进贤的产量结果表明,不同种植密度的秋芝麻,最高产量均出现在 N_2 和 N_3 处理中。从均值看,2014 年 N_3 产量($1\ 065.10\text{kg}/\text{hm}^2$)最高(与 N_2 差异不显著),而 2015 年 N_2 产量($1\ 173.32\text{kg}/\text{hm}^2$)最高(与 N_3 差异不显著),说明提高施氮量可以增产。

表 1 氮肥、密度及其互作对芝麻产量的影响

Table 1 Effect of interaction of nitrogen and density on sesame yield/(kg/hm^2)

处理 Treatment	$N_0 - 0$	$N_1 - 52.5$	$N_2 - 105.0$	$N_3 - 157.5$	平均值 Means
东乡 2014 Dongxiang, 2014	$D_1 - 22.5$	575.40	689.20	947.60	1 059.30
	$D_2 - 30.0$	742.40	869.20	1 056.70	1 130.40
	$D_3 - 37.5$	761.00	997.90	1 110.20	1 005.60
	平均值 Means	692.93cC	852.10bBC	1 038.17aAB	1 065.10aA
进贤 2015 Jinxian, 2015	$D_1 - 22.5$	709.25	1 106.35	1 179.79	1 297.95
	$D_2 - 30.0$	673.53	885.99	1 195.63	1 128.34
	$D_3 - 37.5$	611.18	966.67	1 144.54	1 039.40
	平均值 Means	664.65cC	986.34bB	1 173.32aA	1 155.23aAB
概率 Probability(Pr > F)					
东乡, 2014 Dongxiang, 2014			进贤, 2015 Jinxian, 2015		
D	ns			*	
N	**			**	
D × N	ns			ns	

注: $D_1 - 22.5$; 22.5 万株/ hm^2 ; $D_2 - 30.0$; 30.0 万株/ hm^2 ; $D_3 - 37.5$; 37.5 万株/ hm^2 。 N_0 : 不施氮肥; N_1 : 氮肥用量 $52.5\text{kg}/\text{hm}^2$; N_2 : 氮肥用量 $105.0\text{kg}/\text{hm}^2$; N_3 : 氮肥用量 $157.7\text{kg}/\text{hm}^2$ 。 同列或同行数据后不同小写字母和大写字母分别表示差异达 0.05 和 0.01 显著水平。下同

Note: $D_1 - 22.5$; 2.25×10^5 plants per hectare; $D_2 - 30.0$; 3.00×10^5 plants per hectare; $D_3 - 37.5$; 3.75×10^5 plants per hectare. N_0 : no nitrogen; N_1 : $52.5\text{kg}/\text{hm}^2$ nitrogen; N_2 : $105.0\text{kg}/\text{hm}^2$ nitrogen; N_3 : $157.5\text{kg}/\text{hm}^2$ nitrogen. Values followed by different lowercase letters and capital letters are significantly different among treatments at 0.05 and 0.01 levels respectively. Same as below

2.2 密度和氮肥施用量对秋芝麻产量构成因素的影响

从两年/两地数据分析发现,种植密度对单株蒴果数和千粒重影响是一致的,都表现为随着密度的增加而减少,仅 2014 年表现出 D_1 的单株蒴果数和千粒重都显著高于 D_3 处理(表 2)。随着氮肥用量的增加单株蒴果数和每蒴粒数都表现出增加趋势,其中 N_2 的单株蒴果数 2014 年和 2015 年分别较 N_0 的显著高出 18.65% 和 43.75% (表 2),而 N_2 的每蒴粒数分别较 N_0 的增加 8.50 粒和 1.89 粒。这说明适度控制密度和增施氮肥能够提高单株蒴果数和每蒴粒数。

在不同年份,密度对每蒴粒数的影响规律都不

在氮肥用量不同的条件下,密度高低对产量的影响规律不明显。相同施氮量的试验中,2014 年高产量的是 D_2 和 D_3 处理,2015 年为 D_1 和 D_2 处理。从均值看,两年的调查值甚至出现相反的结果,2014 年最高产量均值为高密度(D_3)处理,2015 年则是低密度(D_1)处理(表 1)。这可能与 2014 和 2015 年的芝麻生长期间的降雨和气温等气候特征明显不同有关。

交互作用分析结果表明,氮肥用量对秋芝麻产量的影响在 2014 年和 2015 年都达到极显著水平,而密度仅对 2015 年进贤点的芝麻产量有显著影响,密度与氮肥的交互作用对芝麻产量都没有显著的影响(表 1)。这说明氮肥用量是影响秋芝麻产量的主要因素,而密度对产量的影响在年际间有差异,二者交互作用对产量影响较小。

明显,但 2015 年每蒴粒数整体高出 2014 年约 16 粒。同一个品种表现出这样的差异,可能与 2014 年和 2015 年蒴果形成期至成熟期的降雨和气温等有关,尤其在 2014 年东乡试验点刚好遇到高温干旱,对芝麻籽粒形成有较大影响,不利于蒴果正常生长发育。

交互作用分析结果表明,氮肥用量对单株蒴果数有显著影响,且是主要的影响因子。2014 年表现为氮肥用量显著影响每蒴粒数,2015 年表现为二者交互作用对每蒴粒数有极显著影响。这说明影响每蒴粒数的主要因子年际间表现不同,可能原因是 2015 年进贤点在芝麻蒴果形成期至成熟期雨水与气候较适宜,有利于蒴果发育,导致每蒴粒数较多,

二者的协同效应发挥更加明显。

表2 密度、氮肥及其互作对秋芝麻产量构成因素的影响
Table 2 Effect of interaction of nitrogen and density on sesame yield components

处理 Treatment	单株蒴果数/(个/株) No. of capsules per plant		每蒴粒数/(粒/蒴) No. of seeds per capsule		千粒重/g 1 000 - seed weight/g	
	东乡, 2014	进贤, 2015	东乡, 2014	进贤, 2015	东乡, 2014	进贤, 2015
D ₁	33.2aA	38.63aA	58.28aA	73.68aA	2.99aA	3.02aA
D ₂	30.68abA	38.36aA	56.32aA	72.88aA	2.91abA	3.02aA
D ₃	27.5bA	35.67aA	52.29aA	70.52aA	2.90bA	3.00aA
N ₀	26.27cB	28.66bB	50.71bA	70.82aA	2.91aA	3.03aA
N ₁	28.81bcAB	37.88aA	51.57bA	72.28aA	2.93aA	2.98aA
N ₂	31.17abAB	41.2aA	59.21abA	72.71aA	2.96aA	2.97aA
N ₃	35.05aA	42.47aA	61.02aA	73.61aA	2.94aA	3.06aA
概率 Probability(Pr > F)						
D	ns	ns	ns	ns	ns	ns
N	*	**	*	ns	ns	ns
D × N	ns	ns	ns	**	ns	ns

注: *, **, ns 分别代表达到显著性水平、极显著水平、无显著性

Note: *, ** and ns indicated significant treatment effects at P ≤ 0.05, P ≤ 0.01 and not significant respectively

2.3 密度和氮肥施用量对秋芝麻品质的影响

从两年/两地数据分析发现(表3),含油量都表现为随着氮肥用量的增加呈现先增后减的趋势,且2014年东乡和2015年进贤N₂处理含油量较N₀分别低0.28个百分点(差异不显著)和0.49个百分点(差异不显著);随着氮肥用量增加蛋白质含量总体表现为增加趋势(表3),且N₂处理蛋白质含量较N₀分别高0.57个百分点(差异不显著)和1.31个百分点(差异显著)。2015年,施用氮肥显著减少了17.8%~20.0%的芝麻素含量,而对2014年东乡的芝麻素和芝麻林素都无显著影响。这说明适量施氮能够稳定芝麻含油量和增加蛋白质含量,而对芝麻素和芝麻林素影响较小。

在不同年份,密度对蛋白质含量的影响规律都不明显。2014年表现为D₁处理含油量较D₃分别

低0.54个百分点(差异不显著),2015年表现为高1.18个百分点(差异显著)。2015年不同密度对芝麻素的影响表现为D₃处理高于D₁(差异不显著),而2014年芝麻林素表现为D₁和D₃的含量均较高(差异不显著),其他时期无显著差异。这说明不同密度对秋芝麻品质的影响规律在年际间表现不一致,不同区域不同年份选择适宜密度,对品质的改善极为关键。

氮肥用量对芝麻含油量和蛋白质含量的影响达显著或极显著水平,而氮肥与密度的交互作用仅对含油量的影响达显著或极显著水平。同时,交互作用对芝麻素和芝麻林素的影响都较小,可能与这2个品质指标主要受品种特性的影响有关,其含量较低且稳定,受环境因素影响相对较小的缘故。

表3 氮肥、密度及其互作对秋芝麻品质的影响
Table 3 Effect of interaction of nitrogen and density on sesame quality

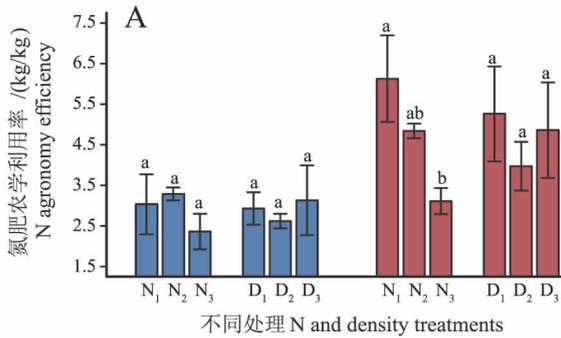
处理 Treatment	含油量/% Oil content		蛋白质含量/% Protein content		芝麻素/(mg/100g) Sesamin		芝麻林素/(mg/100g) Sesamol	
	东乡, 2014	进贤, 2015	东乡, 2014	进贤, 2015	东乡, 2014	进贤, 2015	东乡, 2014	进贤, 2015
D ₁	50.26aA	55.19aA	23.58aA	20.21aA	227.43aA	212.57abA	154.62aA	159.63aA
D ₂	51.12aA	54.86aA	23.35aA	20.18aA	205.46aA	203.59bA	136.00bA	156.49aA
D ₃	50.80aA	53.97bB	23.40aA	20.12aA	223.29aA	241.34aA	151.95abA	176.12aA
N ₀	50.66bAB	55.21abA	23.27abAB	18.98dC	230.19aA	255.66aA	149.88aA	169.45aA
N ₁	51.98aA	55.53aA	22.70bB	19.50cC	234.89aA	210.07bA	151.13aA	155.15aA
N ₂	50.38bAB	54.72bA	23.84aA	20.29bB	204.52aA	204.51bA	137.78aA	162.89aA
N ₃	49.88bB	53.23cB	23.97aA	21.90aA	205.31aA	206.42bA	151.29aA	168.82aA
概率 Probability(Pr > F)								
D	ns	**	ns	ns	ns	ns	ns	ns
N	**	**	**	*	ns	*	ns	ns
D × N	*	*	ns	ns	ns	ns	ns	ns

2.4 密度和氮肥施用量对秋芝麻氮肥利用率影响

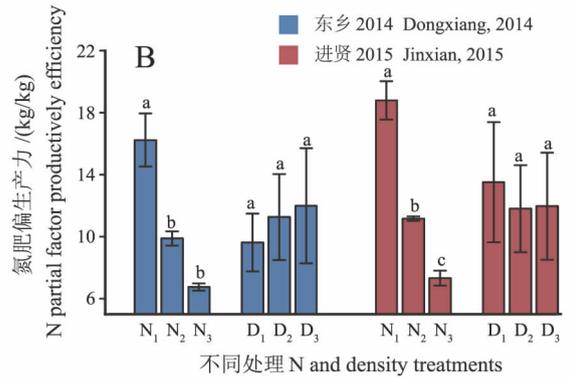
从两年/两地数据分析发现(图1),密度对芝麻

氮肥农学利用率和偏生产力的影响都不明显。除2014年的氮肥农学利用率外,其它时间的氮肥农学

利用率和偏生产力都表现为随着氮肥用量的增加而降低。 N_2 的氮肥农学利用率在 2014 年和 2015 年较 N_3 分别高出 39.15% 和 55.53%, 同时 N_2 的偏生产力较 N_3 的分别高出 46.21% 和 52.35% (图 1)。



同时,当氮肥用量为 N_2 时,其氮肥农学利用率和偏生产力分别稳定在 3.29 ~ 4.84 和 9.89 ~ 11.17 kg/kg。因此,综合前面的产量和品质的结果,认为 N_2 处理能够较好地改善氮肥农学利用率和偏生产力。



注:同组矩形图上不同小写字母表示差异达 0.05 显著水平

Note: Different lowercase letters upon rectangle in the same group are significantly different among treatments at 0.05 level

图 1 氮肥与密度互作对 2014 年(东乡)和 2015 年(进贤)的芝麻氮肥农学利用率(A)和偏生产力(B)的影响
Fig. 1 Effect of interaction of nitrogen and density on N agronomy efficiency (A) and partial productivity efficiency (B) of sesame in 2014 (Dongxiang) and 2015 (Jinxian)

3 讨论与结论

3.1 红壤旱地秋芝麻产量和单株蒴果数受氮肥影响明显

在本研究中,随着氮肥用量的增加,芝麻产量大体呈现增加的趋势,只是在高氮处理(N_3)较中氮处理(N_2)增加或减少的幅度都较小,这完全符合报酬递减规律。其可能原因是当氮素用量供应不足时,芝麻个体发育瘦弱,叶面积减小和叶绿素含量降低,影响光合产物的形成和转运,导致芝麻产量偏低;当氮素供应充足时,光合产物的形成与转运十分通畅,有利于芝麻生长发育和产量形成,避免了过多养分浪费,而且在生长后期能够改善群体光照和通风等条件,减少病虫害等的发生,最终形成芝麻高产;当氮肥供应过量时,会导致芝麻对氮素的奢侈吸收,营养生长过旺而后期生殖生长受到限制,导致产量增加不明显,有时还会出现产量下降。因此,氮肥合理施用能够促进作物生长并提高产量,但是过量施氮或少施、偏施都会抑制作物生长并对生态环境产生重大威胁^[11]。本研究中适宜氮肥用量为 105.0 kg/hm² (N_2),产量较低氮处理(N_1)和空白(N_0)都有显著增加,增产原因主要是增加了芝麻单株蒴果数,对每蒴粒数和千粒重的影响较小(表 1)。

本研究结果与张子武等人^[12]的结论一致,但低于李中秀等人^[5]和卫双玲等人^[4]认为的秋芝麻适宜氮肥用量(120.0 ~ 133.9 kg/hm²)。各人研究的土壤类型的差异是非常明显的(它们分别种植在土

壤肥力较高的滩涂地和壤质潮土,而本研究主要种植在红壤旱地上,其特点主要表现为土壤贫瘠、酸性强、易板结,土壤保水保肥性能差)。但偏低的原因可能与芝麻品种对氮素的利用率不同有关。同时,本研究发现生育期缩短 7 ~ 10d,最高产量低 380 kg/hm² (较李中秀等人^[5]结果),而生育期缩短和产量偏低势必导致芝麻需氮量减少。因此,综合来看,105.0 kg/hm² 是红壤旱地秋芝麻的适宜氮肥用量,其增产方式主要是提高单株蒴果数。

3.2 红壤旱地秋芝麻种植密度的选择要因地制宜

作物地上冠层的光合物质生产和地下根系的养分吸收利用是作物产量形成的关键^[13]。合理密植不仅能够调控好株型和冠层结构,而且能够协调好个体与群体的关系,有效解决源、库、流的矛盾,使群体优势得到充分发挥^[14]。多数研究表明^[15~17]密度和氮肥存在显著的交互作用,不同密度条件下适宜氮肥用量有一定差异。本研究中种植密度对秋芝麻产量的影响规律是低密度(D_1)与高密度(D_3)平均产量存在显著差异,但是 2 年的产量数据变化规律刚好相反(表 1)。这可能与本次试验设计的密度起点值有关, D_1 本身已经是红壤旱地秋芝麻的较适宜密度。2014 年东乡县和 2015 年进贤县 7 ~ 9 月的气象资料显示,进贤试验点 7 月的总降雨量为 211 mm,较东乡县的增加了 49.6 mm,而该月两地的平均气温较接近。两个地点的 8 月份气象数据基本相当,9 月份进贤点的降雨量为 119.5 mm,东乡点为 34.7 mm,然而东乡县的平均最高气温为 31.5 °C 较进

贤县的高出 2.5℃。因此,可以看出进贤县的芝麻苗期(7月上中旬)和终花期至成熟期(9月上中旬)雨水充沛且温度适宜,对芝麻个体生长发育十分有利,在密度较小的条件下群体结构合理,导致产量高于高密度种植。东乡县芝麻生长前期(7月中下旬)雨水较少,进入终花期至成熟期后碰到高温干旱天气,芝麻个体发育较弱,势必需要通过增加密度来达到增加群体生产力的目的。同时受高温干旱的影响也导致生育期缩短约 6d,在芝麻产量基本接近的情况下,不同试验点出现了适宜密度不同的现象。师日鹏等人^[18]对冬小麦的研究结果也表明,密度对小麦的干物质积累和产量的影响存在年际间差异,他们认为主要原因是气候变化导致作物生长存在差异。陈佳娜等人^[19]也发现相同氮肥条件下不同密度对早稻和晚稻的产量影响也不一致,这都为本试验的结果提供了间接支持。因此,适宜氮肥条件下的密度选择,可能需要考虑区域的气候特征和地理位置,建议单秆型品种东乡县及其周边区域选择密度为 37.5 万株/hm²,而进贤县及其周边区域选择 22.5 万株/hm²。至于其它分枝型品种的适宜密度还需要进一步试验研究。

本试验中氮肥设置梯度为 52.5kg/hm²,其值为 N₂ 处理的 50%,梯度可能有点偏大。N₂ 与 N₁ 的产量均值之间有显著差异,且产量差值都在 186kg/hm² 左右。在 N₂ 基础上,适当减少 20%~30% 的氮肥用量,通过氮肥与密度的互作,是否能够保持较高的芝麻产量,同时达到提高氮肥利用率和减少肥料对生态环境影响的目的,将是今后的主要研究方向。本试验使用的品种为赣芝 5 号(单秆、单花、四棱),它是一个比较适宜红壤旱地种植的品种,但是其产量潜力中等。红壤旱地上最近 3 年审定通过的高产黑芝麻品种主要有赣芝 11 号和赣芝 14 号(单秆、三花、四棱),它们的适宜氮肥用量如何,生育期内遇高温干旱条件下,能否通过提高种植密度达到芝麻高产稳产的目的,增强芝麻抵御高温干旱等逆境的能力,也值得今后进一步深入研究。

3.3 氮肥用量是影响芝麻含油量和蛋白质含量的关键因子

氮肥是影响油料作物籽粒含油量和蛋白质含量的主要因素,但不同作物^[20~22]和相同作物不同地点^[23,24]表现出不同规律。油菜和大豆的^[20~22]研究结果表明随着氮肥用量增加含油量逐步减少,而有关芝麻的文献显示^[23]随着氮肥用量的增加(0、40 和 80kg/hm²)含油量逐步上升,但是也有随着氮肥用量的增加而减少的报道^[24~26],这与本试验的先增

后减的结果都不一致,可能与氮肥设置起点值、最高值、梯度大小等有关,也可能与试验地土壤和气候、品种等特性有关,今后应该开展多品种、多区域、更小的氮肥梯度、更多的氮肥处理试验,从而探明含油量随氮肥用量的精准变化关系。同时,含油量和蛋白质含量是一对矛盾的品质指标,一般规律表现为含油量升高导致蛋白质含量降低,如何找出 2 个品质指标同步提升的氮肥最佳用量,也需要今后从品种、施肥方法、施肥量等方面进行深入的研究。

氮肥用量对蛋白质含量的影响结论与油菜和大豆^[20~22]的表现一致,都为随施氮量增加而增加。有研究认为^[27]密度和播期对芝麻含油量的影响不显著,本试验中 2015 年 D₃ 的含油量显著低于其他 2 个密度,这说明密度对含油量的影响是存在的,产生 2 个不同结论的原因可能与生长季节的温度和降雨等气候因素有关。因此,氮肥与密度对芝麻品质的影响是存在的,尤其是氮肥用量对含油量和蛋白质含量的影响十分明显。

4 结论

红壤旱地芝麻产量随氮肥用量的增加呈现逐步增加的趋势,当达到 N₃ 水平时出现了小幅度的增加或减少,含油量表现为随着氮肥用量增加呈现先增后减的趋势,蛋白质含量表现为随着氮肥用量的增加而增加。芝麻素含量大致表现为随着氮肥用量的增加而减少,氮肥用量对芝麻林素无显著影响。种植密度对秋芝麻产量的影响存在年际间和种植区域间的差异,而对芝麻品质的影响较小。因此,从产量、品质以及氮肥利用率来综合考虑,红壤旱地可以选择氮肥用量为 105kg/hm²,单秆型品种进贤县及其周边区域选择种植密度为 2.25 × 10⁵ 株/hm²,东乡县及其周边区域选择 3.75 × 10⁵ 株/hm²,能够达到高产优质的目的。

参考文献:

- [1] 孙建,乐美旺,饶月亮,等. 江西芝麻产业现状、限制因素、发展潜力与对策分析[J]. 江西农业学报, 2010, 22(9): 10-15.
- [2] 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. 2016.
- [3] 江西省统计局. 江西统计年鉴[M]. 北京: 中国统计出版社. 2016.
- [4] 卫双玲,李春明,高桐梅,等. 芝麻氮、磷、钾肥的效应研究[J]. 植物营养与肥料学报, 2013, 19(3): 644-649.
- [5] 李中秀,胡文秀,徐宝庆,等. 不同氮钾用量对芝麻产

- 量的影响[J]. 江西农业学报,2007,19(4):117-118.
- [6] 李亚贞,肖国滨,叶川,等. 不同氮肥用量对秋播黑芝麻“赣芝8号”生长发育及产量的影响[J]. 中国农学通报,2015,31(18):69-73.
- [7] 汪强,时敏,王本超,等. 芝麻增效栽培[M]. 合肥:安徽科学技术出版社,2005. 100.
- [8] 肖国滨,刘小三,黄天宝,等. 不同种植密度对黑芝麻“赣芝7号”产量及主要性状的影响[J]. 中国农学通报,2012,28(21):155-158.
- [9] 乐美旺,张冬仙. 赣芝3号播期和密度配套高产栽培技术研究[J]. 江西农业学报,1999(2):25-29.
- [10] 余常兵,谢立华,李银水,等. 氮钾肥施用技术对芝麻养分积累、产量和品质的影响[J]. 湖北农业科学,2012,51(3):469-472.
- [11] Ju X T, Xing G X, Chen X P, et al. Reducing environmental risk by improving N management in intensive Chinese agricultural systems [J]. PNAS, 2009, 106: 3 041-3 046.
- [12] 张子武,李贵宝,张桂兰. 芝麻氮磷化肥经济施用及其配比研究[J]. 河南农业科学,1989,(12):6-9.
- [13] 邓中华,明日,李小坤,等. 不同密度和氮肥用量对水稻产量、构成因子及氮肥利用率的影响[J]. 土壤,2015,47(1):20-25.
- [14] 刘树金. 栽培地点和密度对不同类型品种水稻形态特征与群体质量影响[D]. 成都:四川农业大学,2010.
- [15] 徐振江,张林,任永浩,等. 种植密度与氮肥施用量对糯小麦籽粒产量和品质的影响[J]. 华中农业大学学报,2010,29(1):9-13.
- [16] 陈海飞,冯洋,蔡红梅,等. 氮肥与移栽密度互作对低产田水稻群体结构及产量的影响[J]. 植物营养与肥料学报,2014,20(6):1 319-1 328.
- [17] 朱珊,李银水,余常兵,等. 密度和氮肥用量对油菜产量及氮肥利用率的影响[J]. 中国油料作物学报,2013,35(2):179-184.
- [18] 师日鹏,上官宇先,马巧荣,等. 密度与氮肥配合对垄沟覆膜栽培冬小麦干物质累积及产量的影响[J]. 植物营养与肥料学报,2011,17(4):823-830.
- [19] 陈佳娜,谢小兵,伍丹丹,等. 机插密度与氮肥运筹对中嘉早17产量形成及氮肥利用率的影响[J]. 中国水稻科学,2015,29(6):628-636.
- [20] 吴永成,马霓,黄晓明,等. 施氮量对中双11号油菜农艺性状、产量品质及氮肥利用率的影响[J]. 四川农业大学学报,2014,32(3):260-264,282.
- [21] 赵继献,任廷波,程国平. 氮肥对甘蓝型优质杂交油菜品质性状的影响[J]. 贵州农业科学,2011,39(12):59-63.
- [22] 姜璐,宁海龙,李文霞,等. 氮肥施用量对超早熟大豆源库关系、产量和品质的影响[J]. 中国农学通报,2013,29(30):105-111.
- [23] Malik M A, Saleem M F, Chenema M A, et al. Influence of different nitrogen levels on productivity of sesame (*Sesamum indicum* L.) under varying planting patterns [J]. International Journal of Agriculture and Biology, 2003,5(4):490-492.
- [24] Tiwari K P, Namdeo K N. Response of sesame (*Sesamum indicum*) to planting geometry and nitrogen [J]. Indian Journal of Agronomy, 1997,42(2):365-369.
- [25] Nagavani A V, Sumathi V, Chandrika V, et al. Effect of nitrogen and sulphur on yield and oil content of sesame (*Sesamum indicum* L.) [J]. Journal of Oilseeds Research, 2001,18(1):73-74.
- [26] Sarkar A, Sarkar S, Zaman A. Effect of irrigation and nitrogen levels on oil content, oil and seed yield of summer sesame in new alluvial zone of West Bengal [J]. Environment and Ecology, 2010,28(2):806-808.
- [27] 汪瑞清,肖运萍,魏林根,等. 不同播期与密度对江西秋芝麻产量和品质的影响[J]. 江西农业学报,2015,27(4):12-14.

(责任编辑:郭学兰)