

内蒙古典型生态区不同类型向日葵氮肥响应差异

王伟妮^{1, 2}, 高 娃^{1, 3*}, 郑 硕⁴, 郜翻身^{1, 5}, 苏 伟⁶, 李 瑞^{1, 2}, 李 娜⁶, 王小峰⁷

- (1. 内蒙古自治区土壤肥料学会, 内蒙古 呼和浩特 010011;
2. 鄂尔多斯市土壤肥料和节水农业工作站, 内蒙古 鄂尔多斯 017010;
3. 内蒙古自治区农牧业科学院, 内蒙古 呼和浩特 010031;
4. 内蒙古农业大学沙漠治理学院, 内蒙古 呼和浩特 010019;
5. 内蒙古自治区土壤肥料和节水农业工作站, 内蒙古 呼和浩特 010011;
6. 鄂尔多斯市农业技术推广站, 内蒙古 鄂尔多斯 017010;
7. 鄂尔多斯市杭锦旗农业技术推广中心, 内蒙古 杭锦旗 017400)

摘 要: 利用 2006 ~ 2016 年内蒙古向日葵“3414”田间试验数据, 评估食用向日葵和油用向日葵在不同生态区之间的氮肥响应及其差异, 并分析土壤基础供氮能力对向日葵氮肥效应的影响。结果显示: 推荐施氮条件下, 食用向日葵在河套灌区、阴山北麓区和燕山丘陵区的施氮增产幅度分别为 35.1%、47.6% 和 35.5%, 偏生产力分别为 24.1、22.8 和 22.7 kg/kg, 农学利用率分别为 5.6、6.6 和 5.7 kg/kg; 油用向日葵在河套灌区、大兴安岭南麓区和燕山丘陵区的施氮增产幅度分别为 32.8%、39.3% 和 18.9%, 偏生产力分别为 26.2、39.7 和 37.7 kg/kg, 农学利用率分别为 5.6、10.8 和 6.0 kg/kg。食葵和油葵的 100 kg 籽粒吸氮量均值分别为 4.6 和 4.7 kg, 吸收利用率分别为 30.1% 和 38.9%, 生理利用率分别为 20.3 和 20.8 kg/kg。上述结果表明, 内蒙古食葵施氮的增产效果优于油葵, 食葵产量对外源氮肥的依赖程度也高于油葵, 因而食葵相较于油葵更应重视氮肥的管理和调控; 不同生态区自然环境和土壤地力的差异也显著影响了向日葵的氮肥增产效应, 河套灌区应积极进行土壤培肥, 燕山丘陵区和大兴安岭南麓区可适当增加施氮量, 阴山北麓区则应以维持向日葵需求为标准适当减少施氮量。

关键词: 内蒙古; 食用向日葵; 油用向日葵; 氮肥; 产量; 肥料利用率

向日葵作为内蒙古自治区的主要油料作物, 在自治区的农业生产中占有相当重要的地位。内蒙古作为我国最大的向日葵主产区, 播种面积约占全国向日葵总面积的 40% 左右, 总产量约占全国总产量的 44%, 位列全国首位, 是我国少有的向日葵高产稳产区^[1]。向日葵植株高大, 生长迅速, 养分需求量大, 生长过程中必须合理施用肥料才能确保获得高产^[2]。然而, 长期以来, 农民对向日葵的化肥用量没有一个定量的概念, 关于向日葵施肥方面的系统研究可借鉴的甚少^[3-4], 盲目施肥现象普遍。张君^[5]通过对内蒙古河套灌区 8 个旗县的调查发现, 向日葵施肥目前存在氮磷钾比例失

调, 氮肥区域分布不均, 施肥培肥不足等问题。氮作为蛋白质的组成成分, 是影响向日葵生长的重要营养因子。国内研究者在向日葵施氮的增产效果、经济效益、氮素的吸收利用等方面进行了相关研究^[3, 6-7], 发现氮肥的施用对向日葵有显著的增产增收效果。针对食用向日葵和油用向日葵的氮素吸收特点也有相关研究, 但是由于不同地区的研究结果不尽相同, 故而不能得出明确的结论。例如: 宁夏地区食葵和油葵 100 kg 籽粒吸氮 (N) 量分别为 3.8 ~ 4.9 和 3.5 ~ 4.6 kg^[8], 内蒙古河套灌区则分别为 4.34 和 4.99 kg^[3, 9]。目前, 内蒙古向日葵施肥研究大多是基于某一地区的单个试验而开展的机理和技术研究, 缺少区域尺度上的宏观效应研究, 且已有的研究主要集中在河套灌区^[5, 9], 其他区域鲜有报道, 故而对于不同生态区之间的施氮反应和氮肥利用效率缺乏明确的认识。因此, 了解内蒙古不同生态区食葵和油葵的氮肥效应现状及差异是实现向日葵区域间肥料优化管理的重要基础。本研究

收稿日期: 2019-07-30; 录用日期: 2019-09-29

基金项目: 内蒙古减肥增效项目; 内蒙古耕地质量评价项目; 内蒙古耕地质量保护与提升项目。

作者简介: 王伟妮 (1984-), 女, 山东潍坊人, 农艺师, 博士, 主要从事现代施肥技术方面的研究。E-mail: i_happy18@126.com。

通讯作者: 高娃, E-mail: gaowabu@126.com。

利用 2006 ~ 2016 年测土配方施肥项目在内蒙古实施的向日葵“3414”田间肥效试验,明确食葵和油葵在不同生态区的施氮效应和氮肥利用率现状,研究不同生态区之间施氮效应的差异,并分析探讨不同向日葵类型和不同生态区之间基础供氮能力对增产效应的影响,以期为内蒙古向日葵区域尺度上的氮肥科学管理与合理配置提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

内蒙古自治区现辖呼和浩特市、包头市、乌海市、赤峰市、通辽市、鄂尔多斯市、呼伦贝尔市、巴彦淖尔市、乌兰察布市、兴安盟、锡林郭勒盟和阿拉善盟共 12 个盟市。根据地形、气候和植被等方面差异可分为 7 大生态区:大兴安岭北麓区、大兴安岭南麓区、燕山丘陵区、西辽河灌区、河套灌区、阴山北麓区和阴山南麓区。

本研究整理 2006 ~ 2016 年国家测土配方施肥项目在内蒙古自治区布置的 392 个向日葵田间试验,其中食用向日葵田间试验 202 个,主要分布在河套灌区(HID)的杭锦后旗、临河区、五原

县、磴口县和乌拉特前旗,阴山北麓区(NFYM)的乌拉特中旗、乌拉特后旗和四子王旗,燕山丘陵区(HAYM)的翁牛特旗、阿鲁科尔沁旗和巴林右旗;油用向日葵田间试验 190 个,主要分布在河套灌区(HID)的临河区、杭锦旗和阿拉善左旗,大兴安岭南麓区(SFGH)的兴安盟农管局、兴安盟吐列毛杜农场和科右中旗,燕山丘陵区(HAYM)的克什克腾旗。食用向日葵田间试验在河套灌区的供试土壤类型主要为灌淤土和盐土,阴山北麓区的供试土壤类型主要为灌淤土和草甸土,燕山丘陵区的供试土壤类型主要为草甸土和栗钙土等;油用向日葵田间试验在河套灌区的供试土壤类型主要为灌淤土、棕钙土、潮土和灰漠土等,大兴安岭南麓区供试土壤类型主要为暗棕壤、黑钙土和草甸土等,燕山丘陵区供试土壤类型主要为黑钙土和灰色森林土。食用向日葵和油用向日葵在各生态区的供试土壤基本理化性状如表 1 所示。向日葵供试品种均为各地主栽品种,食用向日葵主要包括黑白边、美葵 2103、美葵 5009、美葵 3148、CL135、SH909、LD1355 和 LD9091 等,油用向日葵主要包括 S33、S31、G101、T562 和 TO12244 等。

表 1 供试土壤基本农化性状

向日葵类型	地区	指标	有机质 (g/kg)	全氮 (g/kg)	碱解氮 (mg/kg)	有效磷 (mg/kg)	速效钾 (mg/kg)	pH 值
食用向日葵	河套灌区 (n=123)	均值	13.9	0.82	74.0	14.0	162.6	8.5
		标准差	3.7	0.20	28.6	8.8	66.5	0.2
	阴山北麓区 (n=47)	均值	14.9	0.88	82.7	16.1	216.0	8.2
		标准差	5.6	0.34	27.2	12.5	87.6	0.2
	燕山丘陵区 (n=32)	均值	16.2	0.93	69.6	8.9	119.3	8.4
		标准差	6.8	0.38	25.6	5.1	47.1	0.3
油用向日葵	河套灌区 (n=109)	均值	10.9	0.67	62.4	11.3	180.2	8.7
		标准差	3.8	0.22	24.3	10.3	77.6	0.3
	大兴安岭南麓区 (n=78)	均值	42.1	2.19	184.9	17.3	179.9	7.1
		标准差	8.9	0.43	51.8	11.1	99.4	0.7
	燕山丘陵区 (n=3)	均值	13.8	1.48	87.0	7.3	131.0	7.1
		标准差	2.4	0.54	5.0	1.9	20.0	0.1

1.2 试验设计

本研究选取向日葵“3414”田间试验中的处理 2 ($N_0P_2K_2$) 和处理 6 ($N_2P_2K_2$), 即不施氮(-N)和施氮(+N)处理。表 2 表明, 内蒙古不同生态区施氮处理(处理 6)的氮肥(N)用量差异较

大。食用向日葵表现为阴山北麓区施氮量最高, 主要是由于其中的乌拉特中旗和四子王旗施氮量偏高, 分别为 192 和 270 kg/hm^2 ; 河套灌区施氮量间差异较小, 绝大部分县市都分布在 138 ~ 145.5 kg/hm^2 之间, 平均为 141 kg/hm^2 , 低于阴山南麓区;

燕山丘陵区的 N 用量最低，所有县市的 N 用量都 ≤ 135 kg/hm²，平均为 128 kg/hm²。油用向日葵 N 用量表现为河套灌区最高，主要是因为杭锦旗施氮量较高，为 207 kg/hm²；燕山丘陵区油葵试验仅布置

在克什克腾旗，N 用量平均为 135 kg/hm²；大兴安岭南麓区 N 用量最低，在 60 ~ 100.5 kg/hm² 之间，平均仅为 74 kg/hm²。总的来看，食用向日葵的施氮量高于油用向日葵，其均值分别为 144 和 124 kg/hm²。

表 2 食用向日葵和油用向日葵的氮、磷、钾肥用量 (kg/hm²)

向日葵类型	地区	指标	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
食用向日葵	河套灌区 (n=123)	均值 ± 标准差	141 ± 11	84 ± 19	66 ± 15
	阴山北麓区 (n=47)	均值 ± 标准差	163 ± 40	108 ± 31	71 ± 35
	燕山丘陵区 (n=32)	均值 ± 标准差	128 ± 7	109 ± 6	124 ± 30
油用向日葵	河套灌区 (n=109)	均值 ± 标准差	159 ± 32	69 ± 0	67 ± 9
	大兴安岭南麓区 (n=78)	均值 ± 标准差	74 ± 16	62 ± 12	75 ± 0
	燕山丘陵区 (n=3)	均值 ± 标准差	135 ± 0	105 ± 0	150 ± 0

每个试验点不施氮和施氮处理的磷肥用量一致，钾肥用量也一致，不同生态区磷、钾肥用量的平均值见表 2。供试肥料分别为尿素 (N 46%)、重过磷酸钙 (P₂O₅ 46%) 和氯化钾 (K₂O 60%)。氮肥 40% 作为基肥施用，60% 于向日葵现蕾期作为追肥施用，磷、钾肥全部做基肥施用，其他田间管理与农民习惯一致。

1.3 样品采集与测定

1.3.1 土壤基本农化性状的测定

向日葵播种前，各试验取耕层 (0 ~ 20 cm) 土壤样品测定 pH 值、有机质、全氮、碱解氮、有效磷和速效钾含量。土壤 pH 值用电位法，有机质用外加热重铬酸钾容量法，全氮用自动凯氏定氮仪，碱解氮用 1.0 mol/L NaOH 扩散法，有效磷用 0.5 mol/L NaHCO₃ 浸提 - 钼锑抗比色法，速效钾用 1.0 mol/L NH₄OAc 浸提 - 火焰光度法进行测定^[10]。

1.3.2 测产

向日葵成熟后，各试验点所有小区实打实收获得籽实产量。

1.3.3 植株全氮的测定

于向日葵成熟期，对部分有代表性的试验进行植株取样，其中食用向日葵和油用向日葵进行取样的试验个数分别为 46 和 32 个。取样后分经济器官和营养器官分别烘干、粉碎、过筛，采用 H₂SO₄-H₂O₂ 消煮法，凯氏法测定全氮含量。

1.4 有关参数的计算^[11-13]

氮肥偏生产力 (PPFN) (kg/kg) = 施氮区产量 / 施氮量；

氮肥农学利用率 (NAE) (kg/kg) = (施氮区产量 -

无氮区产量) / 施氮量；

氮肥吸收利用率 (NRE) (%) = (施氮区植株总吸氮量 - 无氮区植株总吸氮量) / 施氮量 × 100；

氮肥生理利用率 (NPE) (kg/kg) = (施氮区产量 - 无氮区产量) / (施氮区植株总吸氮量 - 无氮区植株总吸氮量)；

土壤氮素依存率 (SNDR) (%) = 无氮区植株总吸氮量 / 施氮区植株总吸氮量 × 100。

100 kg 籽粒吸氮量 (kg) = 植株总吸氮量 / 籽粒产量 × 100；

氮肥贡献率 (NCR) (%) = (施氮区产量 - 无氮区产量) / 施氮区产量 × 100。

采用 Excel 2010 软件计算和处理试验数据，SPSS 17.0 软件统计分析，最小显著差异法 (LSD 法) 检验处理间在 0.05 水平的差异显著性，采用 Origin 8.0 软件作图。

2 结果与分析

2.1 施氮对内蒙古不同生态区向日葵产量的影响

内蒙古自治区食用向日葵和油用向日葵的产量在不施氮肥和施用氮肥的条件下均有显著差异 (图 1)，其中食葵无氮区产量平均为 2 525 kg/hm²，施氮区产量平均为 3 350 kg/hm²；油葵无氮区产量平均为 2 746 kg/hm²，施氮区产量平均为 3 567 kg/hm²。对于食用向日葵，三大生态区中，河套灌区的无氮区产量最高，阴山北麓区的施氮区产量最高，而燕山丘陵区在不施氮和施氮条件下的产量均为最低。不施氮条件下，河套灌区的食葵产量比阴山北麓区和燕山丘陵区分别高 26 和 411

kg/hm²；施氮条件下，阴山北麓区的食葵产量比河套灌区和燕山丘陵区分别高 191 和 642 kg/hm²。由图 1 也可以看出，食葵产量在三大生态区中，除河套灌区和阴山北麓区之间差异不显著，其余区域间产量差异两两显著。油用向日葵在三大生态区之间产量差异均为两两显著，其中燕山丘陵区在不施氮和施氮

条件下的产量均为最高，而大兴安岭南麓区的产量均为最低。不施氮条件下，燕山丘陵区的油葵产量比河套灌区和大兴安岭南麓区分别高 1 149 和 2 127 kg/hm²；施氮条件下，燕山丘陵区的油葵产量比河套灌区和大兴安岭南麓区分别高 1 097 和 2 176 kg/hm² (图 1)。

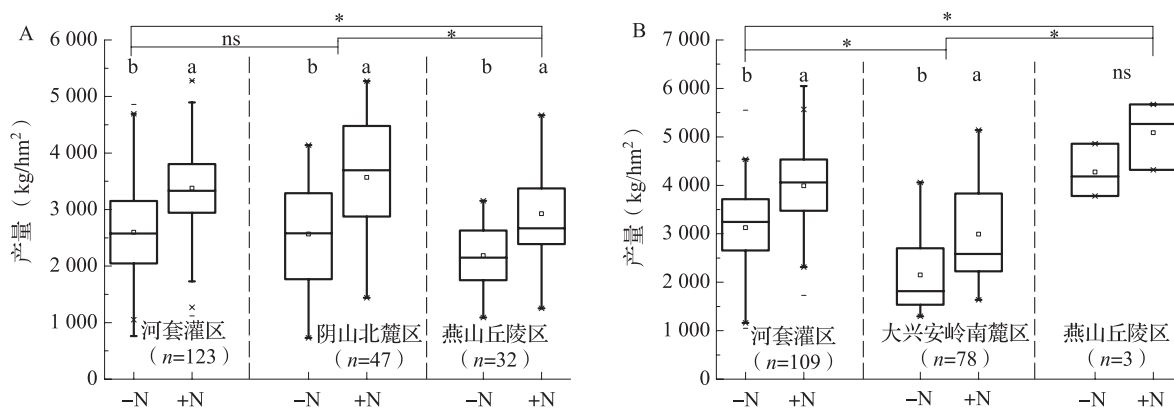


图 1 内蒙古不同生态区食用向日葵 (A) 和油用向日葵 (B) 施氮的产量效应

注：不同小写字母 (a 和 b) 表示施氮处理间差异显著 ($P<0.05$)，* 表示生态区之间差异显著 ($P<0.05$)，ns 表示施氮处理间或生态区之间差异不显著 ($P<0.05$)。箱体中的实线和口分别代表中值和均值，箱体的上、下边界线分别代表 75% 和 25% 点位，箱体外的上、下“x”分别代表 99% 和 1% 点位，短横线分别代表最大值和最小值。下同。

2.2 内蒙古不同生态区向日葵施氮增产效果的差异

食用向日葵所在的三大生态区中，阴山北麓区施氮的增产效果最好，平均增产 1 000 kg/hm² (47.6%)，显著高于河套灌区 (780 kg/hm², 35.1%) 和燕山丘陵区 (740 kg/hm², 35.5%) 的增产效果 (图 2)。图 2A 显示，食葵在河套灌区、阴山北麓区和燕山丘陵区的施氮增产产量分别主要集中在 400 ~ 1 100、500 ~ 1 200 和 400 ~ 800 kg/hm² 之间，所占比

例分别为 58.5%、53.3% 和 56.3%；分别有 1.6%、13.3% 和 3.1% 试验的增产量超过了 2 000 kg/hm²。食葵在三大生态区的增产率分布情况也不太一致 (图 2B)，河套灌区、阴山北麓区和燕山丘陵区分别主要分布在 15% ~ 50%、20% ~ 60% 和 20% ~ 45% 之间，且分别有 1.6%、13.3% 和 6.3% 试验的增产率大于 100%。

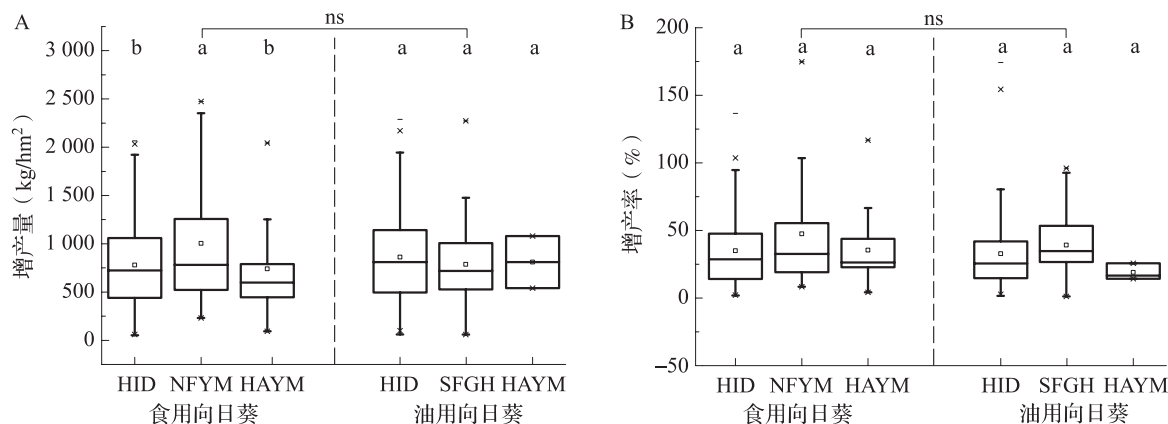


图 2 内蒙古不同生态区食用向日葵和油用向日葵的施氮增产量和增产率

注：HID 河套灌区；NFYM 阴山北麓区；HAYM 燕山丘陵区；SFGH 大兴安岭南麓区。不同小写字母 (a 和 b) 表示生态区之间差异显著 ($P<0.05$)，相同字母表示差异不显著，ns 表示不同类型向日葵间差异不显著 ($P<0.05$)。下同。

对于油用向日葵来说,大兴安岭南麓区施氮的增产效果最好,增产率平均可达 39.3% (增产产量 773 kg/hm²);河套灌区的增产效果次之,增产率平均为 32.8% (增产产量 862 kg/hm²);燕山丘陵区的增产效果最差,增产率仅为 18.9% (增产产量 810 kg/hm²) (图 2)。从图 2A 可以看出,油葵在河套灌区和大兴安岭南麓区的施氮增产率分别主要集中在 500 ~ 1 200 和 500 ~ 1 000 kg/hm² 之间,所占比例分别为 52.3% 和 50.6%;分别有 1.8% 和 1.3% 试验的增产产量超过了 2 000 kg/hm²。油葵在河套灌区和大兴安岭南麓区的施氮增产率分别主要分布在 15% ~ 40% 和 25% ~ 55% 之间,且河套灌区有 2.8% 的试验施氮增产率大于 100% (图 2B)。油葵在燕山丘陵区的有效试验仅有 3 个,故该区施氮增产效果的分布规律不作分析。

2.3 内蒙古不同生态区向日葵氮肥利用效率的差异

国外通用的氮肥利用率定量指标有氮肥偏生产力 (PFP_N)、氮肥农学利用率 (NAE)、氮肥

吸收利用率 (NRE) 和氮肥生理利用率 (NPE),这些指标从不同侧面描述了作物对氮肥的利用效率^[14-15]。图 3 是利用 202 个食用向日葵和 190 个油用向日葵田间试验数据得出 PFP_N 和 NAE 分布图。图 3A 中,食用向日葵在河套灌区的 PFP_N 最高,平均为 24.1 kg/kg,略高于阴山北麓区和燕山丘陵区 (22.8 和 22.7 kg/kg);油用向日葵在大兴安岭南麓区和燕山丘陵区的 PFP_N 分别平均为 39.7 和 37.7 kg/kg,显著高于河套灌区 (26.2 kg/kg)。由此可见,内蒙古油用向日葵的 PFP_N 显著高于食用向日葵,均值分别为 31.9 和 23.6 kg/kg,这与油葵产量高且施氮量低有关。图 3B 显示,食用向日葵在阴山北麓区的 NAE 相较于河套灌区和燕山丘陵区略高,均值分别为 6.6、5.6 和 5.7 kg/kg;油用向日葵在大兴安岭南麓区的 NAE 平均为 10.8 kg/kg,显著高于河套灌区和燕山丘陵区 (5.6 和 6.0 kg/kg)。总的来看,油用向日葵的 NAE 显著高于食用向日葵,其均值分别为 7.8 和 5.8 kg/kg。

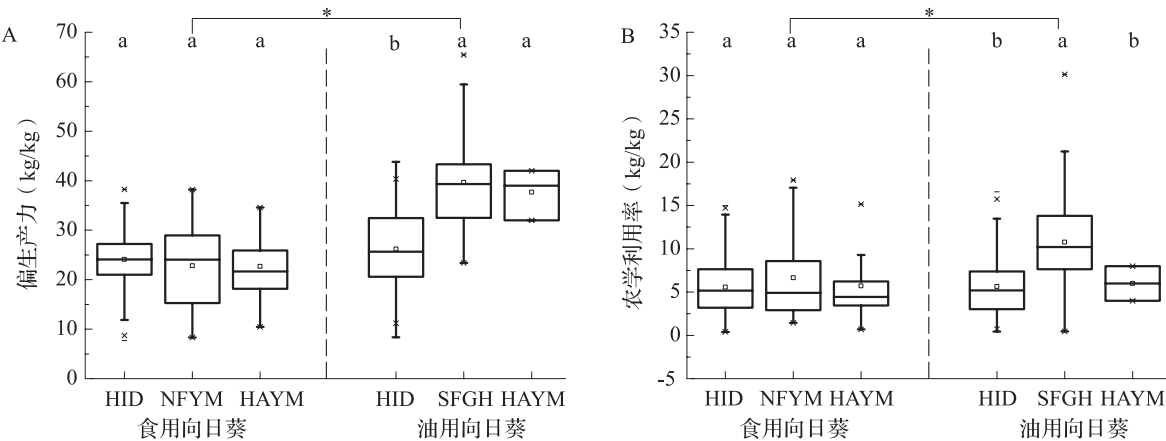


图 3 内蒙古不同生态区食用向日葵和油用向日葵的氮肥偏生产力和农学利用率

从表 3 可以看出,食用向日葵和油用向日葵的 100 kg 籽粒吸氮量值差异很小,均值分别为 4.6 和 4.7 kg,表明在当前生产条件下,生产 100 kg 向日葵籽粒大约需要吸收 N 4.5 kg。向日葵氮肥吸收利用率 (NRE) 在不同试验点间的差异较大,变幅在 5.0% ~ 96.8% 之间,其中油葵的 NRE 显著高于食葵,其均值分别为 38.9% 和 30.1%。向日葵氮肥生理利用率 (NPE) 的变幅也较大,在 4.0 ~ 100.4 kg/kg 之间;食葵和油葵 NPE 的均值基本一致,分

别为 20.3 和 20.8 kg/kg,表明向日葵体内每积累 1 kg 肥料氮素大约可增加 20 kg 籽粒。土壤氮素依存率 (SNDR) 反映了土壤氮对作物氮营养的贡献率^[16],其变化范围在 43.0% ~ 97.3% 之间,食葵和油葵的平均值分别为 70.1% 和 72.5%,充分说明土壤氮素养分对向日葵生长的贡献是相当大的。因此,培肥地力,维持较高的地力对向日葵的高产、高效具有重要意义。

表3 内蒙古不同生态区食用向日葵和油用向日葵的氮肥吸收和利用效率

向日葵 类型	样本数	100 kg 籽粒 吸氮量 (kg)		氮肥吸收利用率 (%)		氮肥生理利用率 (kg/kg)		土壤氮素依存率 (%)	
		变幅	均值	变幅	均值	变幅	均值	变幅	均值
食用向日葵	42	3.0 ~ 6.3	4.6 ± 0.8 a	5.0 ~ 44.6	30.1 ± 8.7 b	4.0 ~ 55.3	20.3 ± 10.7 a	54.0 ~ 90.3	70.1 ± 9.0 a
油用向日葵	32	3.2 ~ 7.4	4.7 ± 0.9 a	7.5 ~ 96.8	38.9 ± 20.4 a	5.3 ~ 100.4	20.8 ± 16.5 a	43.0 ~ 97.3	72.5 ± 13.3 a

注: 同列不同小写字母表示差异显著 ($P < 0.05$), 相同小写字母表示差异不显著。

2.4 内蒙古不同生态区土壤基础供氮能力与向日葵施氮产量、氮肥贡献率的关系

不施氮条件下, 作物产量的高低可反映土壤的基础供氮能力^[17]。研究发现, 内蒙古不同生态区的食用向日葵和油用向日葵施氮产量与不施氮产量(土壤基础供氮能力)之间均存在极显著的正相关关系(除燕山丘陵区的油用向日葵因试验样本数太少未做相关性分析), 说明土壤基础供氮能力越高, 越有利于施肥后获得高产(图4和5)。图中回归方程斜率反映了土壤基础供氮能力对作物施氮产量的影响程度, 不同生态区之间和不同向日葵类

型之间回归方程斜率的差异说明向日葵的施氮效应受到生态区环境条件和作物种类的影响。其中, 食用向日葵燕山丘陵区土壤基础供氮能力对产量的影响程度明显高于河套灌区和阴山北麓区, 油用向日葵大兴安岭南麓区土壤基础供氮能力对产量的影响程度明显高于河套灌区。总体来看, 土壤基础供氮能力对油用向日葵产量的影响程度明显高于食用向日葵。另外, 不同生态区回归方程的决定系数处于0.629 ~ 0.799之间, 说明内蒙古自治区向日葵施氮产量60%以上的变异来自土壤基础供氮能力的不同。

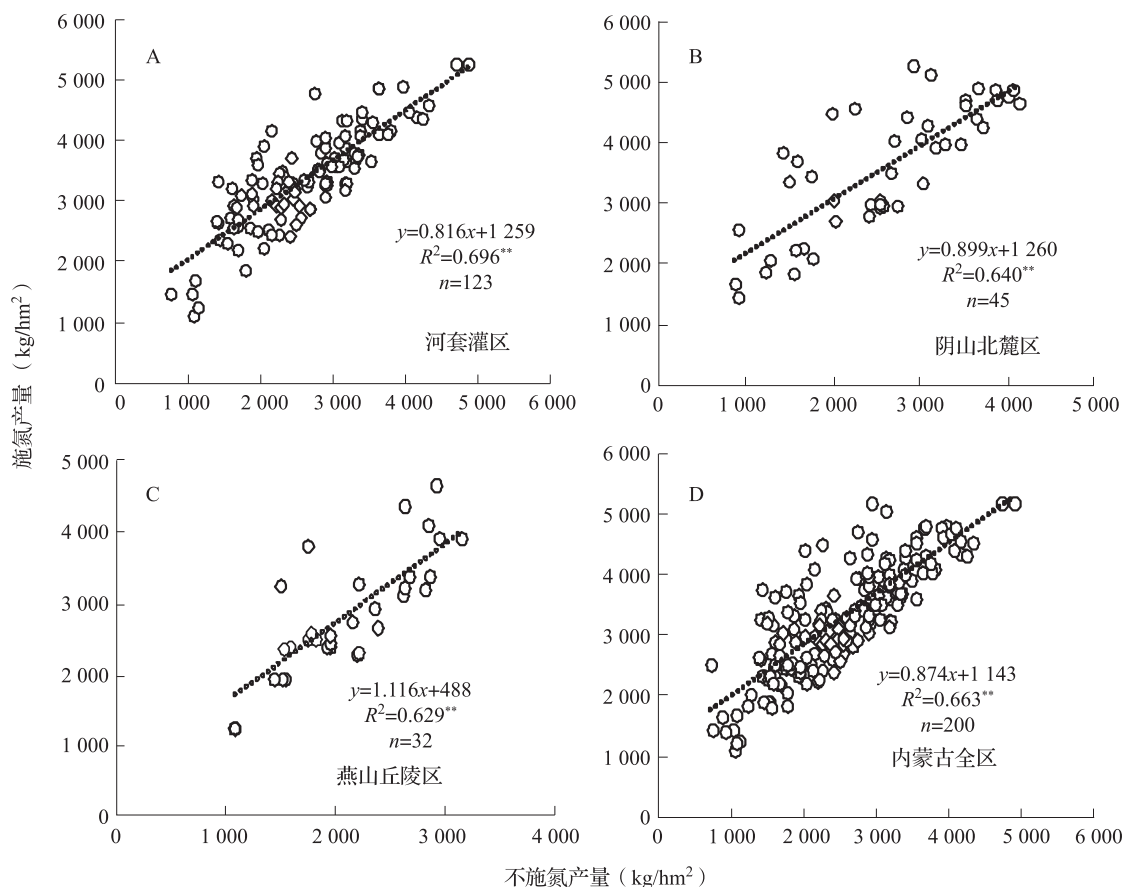


图4 内蒙古不同生态区食用向日葵施氮产量与不施氮产量的关系

注: ** 表示回归方程决定系数达极显著水平 ($P < 0.01$)。下同。

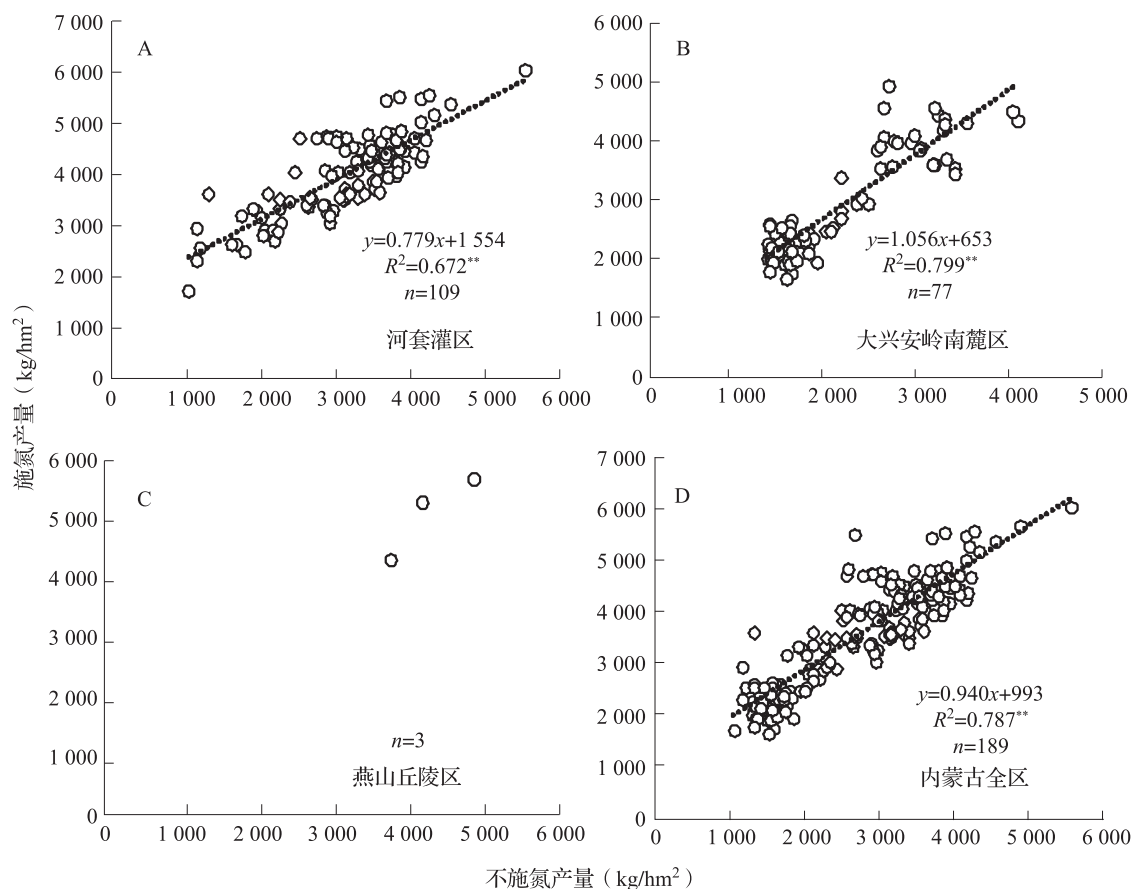


图5 内蒙古不同生态区油用向日葵施氮产量与不施氮产量的关系

图6和7显示,除燕山丘陵区,其他区域的食用向日葵和油用向日葵的氮肥贡献率与不施氮产量之间均存在显著的对数关系,氮肥贡献率随不施氮产量的增加而显著降低,说明土壤基础供氮能力越高,向日葵对外源氮肥的依赖越低。但是,不同向日葵类型不同生态区之间回归方程的曲线斜率也存在明显差异,其中食用向日葵表现为河套灌区>阴山北麓区>燕山丘陵区,油用向日葵表现为河套灌区>大兴安岭南麓区(图6和7)。总体来看,食用向日葵回归方程的曲线斜率明显高于油用向日葵,表明随土壤基础供氮能力的提高,氮肥对食用向日葵产量贡献的降幅更大,而油用向日葵则相对较小。

3 讨论

氮肥在向日葵生产中发挥着重要作用,食葵和油葵施氮后的增产幅度均可达35%。然而,由于不同向日葵类型的基础产量和施氮量不同,故食葵和油葵的施氮效果与氮肥利用率均存在差异。食葵施氮的增产幅度(38.3%)高于油葵(35.4%),氮肥

利用率(PFP_N 、 NAE 、 NRE 、 NPE)则低于油葵,这是由于食葵的施氮量高于油葵所致。据前人研究结果^[8],食葵与油葵对氮素的吸收规律基本相同,不同生育期氮含量的变化趋势相近,每形成100 kg籽粒所吸收的N量基本一样,这一结论与本研究结果基本一致。然而,本结果与李庆文等^[18]报道的每生产100 kg籽粒食葵需N 6.22 kg,油葵需N 7.44 kg有所不同,这可能与土壤条件不同有关,具体原因有待进一步研究。

内蒙古四大生态区的向日葵产量水平、施氮效果和氮肥利用率均存在显著差异,这可能是受光照、降水、土壤等自然条件以及施肥、栽培等人为因素的综合影响^[19-20]。河套灌区日照充足,光能丰富,昼夜温差大,无霜期短,非常适宜向日葵种植^[21]。该区域的食葵和油葵施氮后的产量均处于较高水平,然而由于其基础产量也较高,故相对增产率较低,氮肥农学利用率和氮肥贡献率也相对偏低。该区向日葵施氮产量受土壤基础供氮能力影响程度较小,而受外源氮肥影响程度较大,说明当前

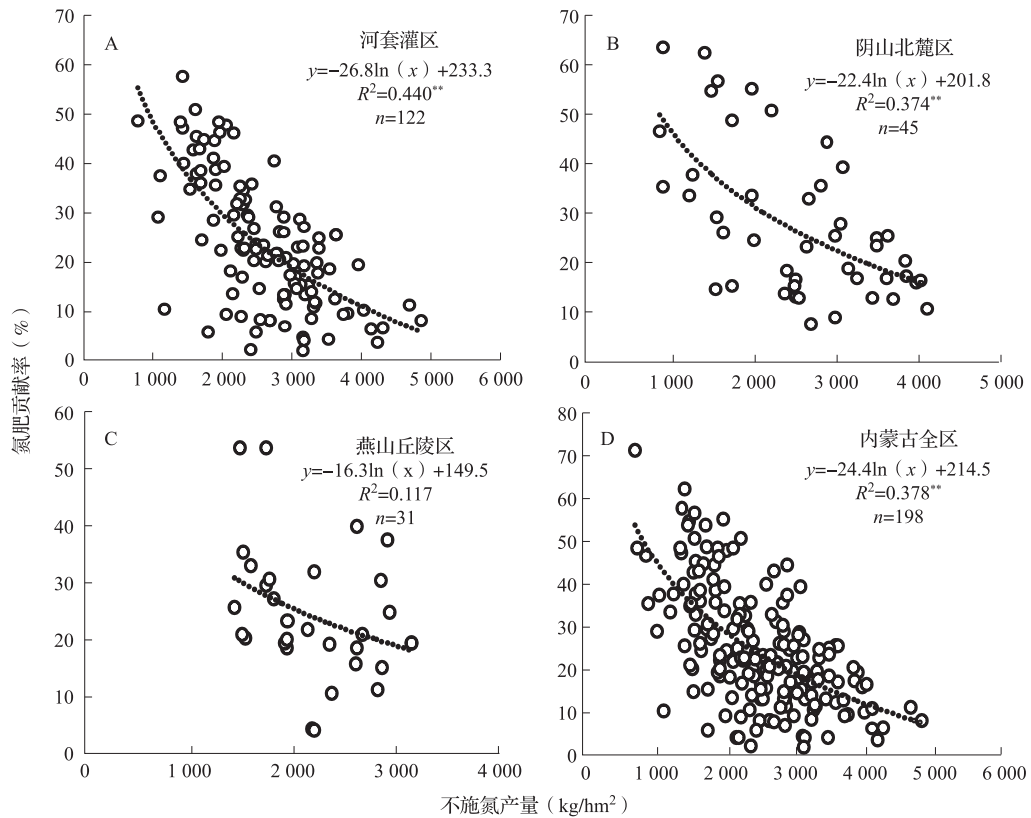


图6 内蒙古不同生态区食用向日葵氮肥贡献率与不施氮产量的关系

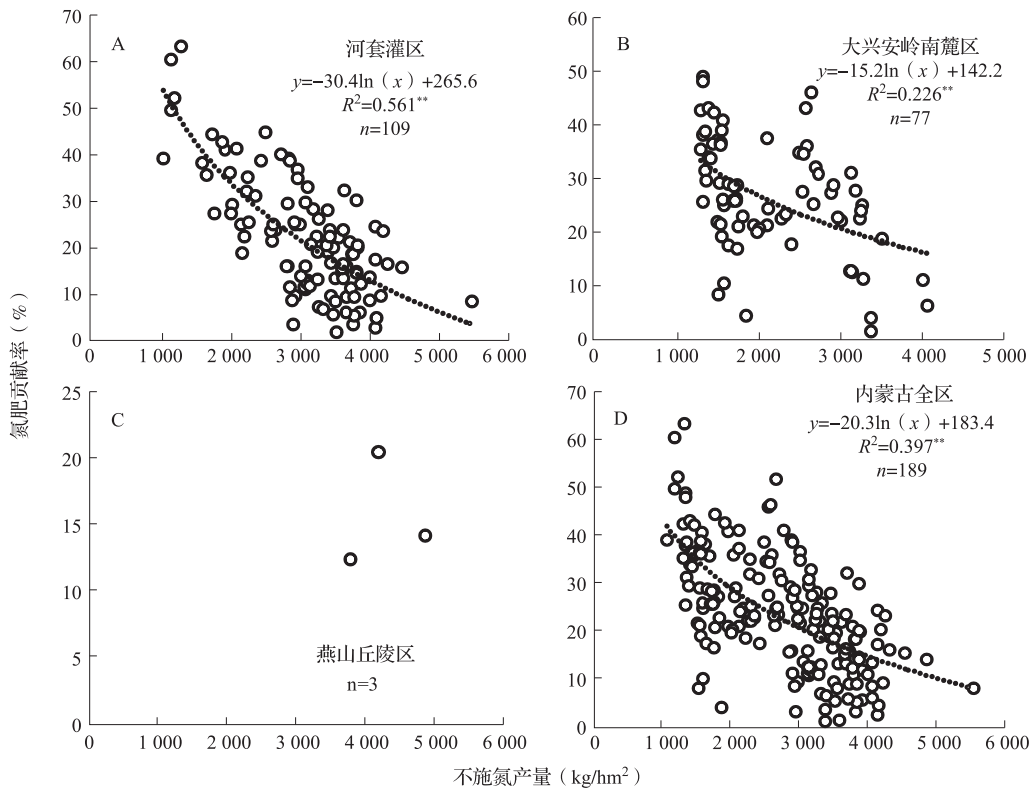


图7 内蒙古不同生态区油用向日葵氮肥贡献率与不施氮产量的关系

河套灌区较低的土壤肥力导致向日葵只能更多的依赖于外源氮肥来获得高产,而这进一步导致了较低的氮肥利用率。因此,考虑到河套灌区的土壤和气候条件,该区域的向日葵种植应重视土壤培肥,提高地力水平,同时推广适宜的水肥高效利用技术,以水促肥获得高产。

大兴安岭南麓区光照、积温相对不足,自然灾害严重,而且该区域部分地区为森林植被系统,部分土壤呈酸性或微酸性,养分含量测定值尽管很高,但由于施肥量相对较低,因此该区油葵产量较低。然而,该区油葵施氮的增产效果和氮肥利用效率明显较河套灌区和燕山丘陵区高。这可能是因为该区域的土壤有机质和全氮含量较高,氮肥施用后产生的激发效应促进了土壤养分供应,因而氮肥增产效果较好^[22]。另一方面,大兴安岭南麓区油葵施氮量普遍偏低,78%以上的旗县施氮量 $\leq 75 \text{ kg/hm}^2$,平均施氮量较河套灌区和燕山丘陵区分别低85和61 kg/hm^2 ,故其氮肥偏生产力和农学利用率均最高。鉴于以上分析,该区域向日葵生产应在结合其他栽培措施的基础上,适当增施氮肥以促进植株发育、提高光合能力、增加产量^[23-24]。另外,燕山丘陵区的食葵和大兴安岭南麓区的油葵施氮产量均表现为受土壤基础供氮能力影响程度较大,而受外源氮肥影响程度较小,这是因为这两个区域的土壤肥力水平相对偏高而氮肥用量相对偏低。因此,燕山丘陵区和大兴安岭南麓区的向日葵栽培应在现有基础上适当增加氮肥用量,同时配合其他栽培措施来提高产量。

本研究还发现,氮肥对向日葵产量的贡献率随土壤基础供氮能力的提高而显著下降,说明维持较高的土壤供氮能力可减少向日葵对外源氮肥的需求。在目前大力实施化肥负增长的战略背景下,内蒙古应大力推广平衡施肥、增施有机肥、深耕深松、秸秆还田以及水肥一体化等技术措施提高耕地质量,实现化肥负增长。同时,兼顾大区域与小环境,保证氮肥合理分配,实现向日葵的高产高效。

4 结论

氮肥施用是当前生产条件下保障内蒙古向日葵高产的重要措施。食用向日葵相较于油用向日葵,施氮增产幅度高而氮肥利用率低,故食用向日葵较油用向日葵更应重视氮肥的管理和调控,并结合其他栽培措施提高产量水平和氮肥利用效率。根据区

域气候环境特点和向日葵氮肥响应特征,建议河套灌区的食葵和油葵生产中均应积极进行土壤培肥,提高土壤基础供氮能力,从而获得高产高效;燕山丘陵区的食葵和大兴安岭南麓区的油葵可在现有基础上适度增加施氮量,同时配合其他栽培措施增加产量;阴山北麓区的食葵应以维持作物需求为标准适当减少施氮量,尤其是四子王旗和乌拉特中旗。

参考文献:

- [1] 赵贵兴,钟鹏,陈霞,等. 中国向日葵产业发展现状及对策[J]. 农业工程, 2011, 1(2): 42-45.
- [2] 国世佳,段玉,张君,等. 施氮量对食用向日葵产量及品质的影响[J]. 中国土壤与肥料, 2019, (2): 126-132.
- [3] 段玉,妥德宝,张君,等. 氮磷钾平衡施用对油用向日葵产量及肥料效率的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2013, 19(3): 767-771.
- [4] 王鹏飞. 不同施肥量对向日葵产量相关性状的影响及经济效益分析[D]. 呼和浩特: 内蒙古农业大学, 2016.
- [5] 张君. 油用型向日葵养分积累分配规律及施肥肥效研究[D]. 呼和浩特: 内蒙古农业大学, 2010.
- [6] 李雪冰,闫礼,孔德胤,等. 河套灌区油用向日葵施肥量经济效益分析[J]. 中国农学通报, 2010, 26(22): 201-205.
- [7] 安玉麟,郭富国,杨文耀. 河套黄灌区油用向日葵氮磷钾肥料效应分析[J]. 华北农学报, 2007, 22(5): 147-151.
- [8] 李晓慧,何文寿,白海波,等. 宁夏向日葵不同生育期吸收氮、磷、钾养分的特点[J]. 西北农业学报, 2009, 18(5): 167-175.
- [9] 段玉,张君,安昊,等. 河套灌区食用向日葵氮磷钾养分吸收、积累和分配规律的研究[J]. 北方农业学报, 2018, 46(1): 46-57.
- [10] 鲍士旦. 土壤农化分析[M]. 北京: 中国农业出版社, 2000.
- [11] 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.
- [12] 宇万太,赵鑫,张璐,等. 长期施肥对作物产量的贡献[J]. 生态学杂志, 2007, 26(2): 2040-2044.
- [13] 曾勇军,石庆华,潘晓华,等. 施氮量对高产早稻氮素利用特征及产量形成的影响[J]. 作物学报, 2008, 34(8): 1409-1416.
- [14] Novoa R, Loomis R S. Nitrogen and plant production [J]. Plant and Soil, 1981, 58: 177-204.
- [15] Broadbent F E, De datta S K, Laureles E V. Measurement of nitrogen utilization efficiency in rice genotypes [J]. Agronomy Journal, 1987, 79: 786-791.
- [16] 叶全宝,张洪程,魏海燕,等. 不同土壤及氮肥条件下水稻氮利用效率和增产效应研究[J]. 作物学报, 2005, 31(11): 1422-1428.
- [17] 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.

- [18] 李庆文, 魏亚范, 尤宝庆, 等. 向日葵吸肥特征及其对肥料效应研究[J]. 土壤通报, 1984, 15(2): 76-77.
- [19] 张智, 王伟妮, 李昆, 等. 四川省不同区域水稻氮肥施用效果研究[J]. 土壤学报, 2015, 52(1): 234-241.
- [20] 王寅, 郭聃, 高强, 等. 吉林省不同生态区玉米施氮效果与氮肥利用效率差异[J]. 土壤学报, 2016, 53(6): 1464-1475.
- [21] 盖春英, 马宝东. 向日葵在巴盟地区的发展潜力[J]. 中国种业, 2003, 7: 18.
- [22] 沈善敏. 无机氮对土壤矿化与固定的影响—兼论土壤氮的“激发效应”[J]. 土壤学报, 1986, 23(1): 10-16.
- [23] Toth V, Meszaros I, Veres S, et al. Effects of the available nitrogen on the photosynthetic activity and xanthophyll cycle pool of maize in field[J]. Journal of Plant Physiology, 2002, 159(6): 627-634.
- [24] 王蓉, 何文寿, 马玉波, 等. 氮素用量对油菜氮磷钾养分吸收积累及产量的影响[J]. 中国油料作物学报, 2014, 36(4): 494-501.

Differences in responses to nitrogen fertilizer of edible sunflower and oil sunflower in typical ecological zones of Inner Mongolia

WANG Wei-ni^{1, 2}, GAO Wa^{1, 3*}, ZHENG Shuo⁴, GAO Fan-shen^{1, 5}, SU Wei⁶, LI Rui^{1, 2}, LI Na⁶, WANG Xiao-feng⁷
(1. Inner Mongolia Soil and Fertilizer Society, Hohhot Inner Mongolia 010011; 2. Ordos Soil and Fertilizer and Water-Saving Agriculture Work Station, Ordos Inner Mongolia 017010; 3. Inner Mongolia Academy of Agricultural and Animal Husbandry Sciences, Hohhot Inner Mongolia 010031; 4. College of Desert Control Science and Engineering, Inner Mongolia Agricultural University, Hohhot Inner Mongolia 010019; 5. Inner Mongolia Soil and Fertilizer and Water-Saving Agriculture Work Station, Hohhot Inner Mongolia 010011; 6. Ordos Agricultural Technology Promotion Station, Ordos Inner Mongolia 017010; 7. Hangjinqi Agricultural Technology Center, Hangjinqi Inner Mongolia 017400)

Abstract: A total of 392 sunflower “3414” field experiments were conducted in Inner Mongolia during 2006 ~ 2016, the data in these experiments were collected in this study, aiming to compare sunflower yield response to N fertilizer and investigate the effects of soil indigenous N supply on N fertilizer responses of sunflower yield among different ecological zones. The results showed that N fertilizer application played an important role for ensuring high yield in the sunflower production of Inner Mongolia. The relative yield increase of edible sunflower to N fertilizer was 35.1% in the Hetao irrigation district (HID), 47.6% in the northern foot of Yinshan mountain (NFYM) and 35.5% in the hilly area of Yanshan mountain (HAYM), respectively. The relative yield increase of oil sunflower to N fertilizer was 32.8% in the HID, 39.3% in the southern foot of the greater hinggan (SFGH) and 18.9% in the HAYM, respectively. Under current optimal N application rate condition, the PFP_N of edible sunflower was averaged at 24.1 kg/kg in the HID, 22.8 kg/kg in the NFYM, and 22.7 kg/kg in the HAYM; and the values of NAE were 5.6, 6.6, and 5.7 kg/kg in the three ecological zones, respectively. The PFP_N of oil sunflower was averaged at 26.2 kg/kg in the HID, 39.7 kg/kg in the SFGH, and 37.7 kg/kg in the HAYM; and the values of NAE were 5.6, 10.8, and 6.0 kg/kg in the three ecological zones, respectively. Furthermore, N absorption of 100 kg seeds of edible sunflower and oil sunflower were 4.6 and 4.7 kg, N recovery efficiencies (NRE) were 30.1% and 38.9%, and N physiological efficiencies (NPE) were 20.3 and 20.8 kg/kg in Inner Mongolia, respectively. In conclusion, compared with oil sunflower, yield response to N fertilizer was relatively higher for edible sunflower. As a result, N fertilizer management and adjustment should receive more attention for the edible sunflower production than oil sunflower in Inner Mongolia. N fertilizer response to sunflower yield was significantly affected by ecological zones due to natural environment characteristics and soil fertility, and thereby N fertilizer should be allocated and managed appropriately in the crop production based on regional soil indigenous N supply and crop response to N fertilization. It is suggested that the technology of efficient and water saving irrigation should be widely extrapolated in addition to soil fertility building in the HID, and the current N application rate should be increased slightly in combination with effective cultivation practices in the HAYM and SFGH, while it should be reduced properly in line with the demand of the sunflower for N in the NFYM.

Key words: Inner Mongolia; edible sunflower; oil sunflower; N fertilizer; yield; fertilizer use efficiency