

氮素用量对油葵氮磷钾养分吸收积累及产量的影响

王 蓉, 何文寿*, 马玉波, 任 然, 赵 涛
(宁夏大学农学院, 宁夏 银川, 750021)

摘要:为研究氮素对油葵植株氮磷钾养分积累和产量的影响, 采用田间试验方法, 在宁夏中部干旱带同心地区进行了油葵肥料试验。结果表明, 在供试土壤条件下, 氮磷钾养分积累均呈“S”型曲线, 符合 Logistic 方程。施氮量在 6 ~ 18 kg/667 m² 之间时, 均促进油葵对氮磷钾的吸收。其中, 100 kg 籽粒所需 N、P₂O₅、K₂O 范围分别是 5.68 ~ 6.19 kg、4.32 ~ 4.62 kg、14.82 ~ 21.20 kg, 三要素(N: P₂O₅: K₂O)平均比例为 1: 0.76: 2.93。成熟期时, 氮磷钾总积累量均是 N₂P₂K₂ 处理最高, 分别达到 47.99 g/株、35.45 g/株、152.30 g/株。当施氮量为 10.53 kg/667 m² 时, 产量达最高值 221.02 kg/667 m², 最佳经济效益施氮量为 9.54 kg/667 m², 最佳经济效益产量为 220.48 kg/667 m²。

关键词:油葵; 养分; 施肥量; 产量

中图分类号: S143.1, S565.506

文献标识码: A

文章编号: 1007-9084(2014)04-0494-08

Effects of nitrogen fertilizer application on NPK accumulations and yield for oilseed sunflower

WANG Rong, HE Wen-shou*, MA Yu-bo, REN Ran, ZHAO Tao

(School of Agriculture, Ningxia University, Yinchuan 750021, China)

Abstract: To better understand the nutrition of oilseed sunflower plants, fertilizer field experiment was conducted at Tongxin in Ningxia to investigate the effects of N, P and K fertilizers on yield. Results showed that N fertilizer affected organ's NPK accumulation at different growth stages. The accumulations of the three elements showed S curves along with the growth, imitated by Logistic equations. In the maturity stage, 100 kg seeds of sunflower were obtained under average nutrition ratio (N: P₂O₅: K₂O) of 1: 0.76: 2.93. Under the N₂P₂K₂ treatment (12 kg/667 m² N, 6 kg/667 m² P₂O₅ and 4 kg/667 m² K₂O), the highest total accumulations reached 47.99 g/plant of N, 35.45 g/plant of P and 152.30 g/plant of K respectively. The top yield reached 221.02 kg/667 m² under 10.53 kg/667 m² of N fertilizer. The top economic yields reached 220.48 kg/667 m² under 9.54 kg/667 m² of N fertilizer.

Key words: Oilseed sunflower; Nutrient; Fertilization; Yield

向日葵是世界上第四大油料作物, 也是我国主要油料作物之一, 面积仅次于油菜, 居第二位^[1~6]。我国对向日葵氮磷钾养分吸收、运转、体内分布规律等方面做了大量研究。其中, 东北地区和内蒙古地区针对此方面研究甚多, 大多数在油用向日葵氮磷钾养分运转、吸收等规律方面的研究结论相似^[7~15], 施适量的氮磷钾肥均可促进作物养分吸收和产量的提高。但是, 同时期同器官养分含量、100 kg 籽实所需 N、P₂O₅、K₂O 量数据相差较大, 且磷、钾含量表示单位不统一, 造成引用困难。

向日葵耐盐性较强, 享有“抗盐碱先锋作物”和

“节水优良作物”的美誉。因此, 向日葵是宁夏盐碱地改良的首选作物, 也是盐碱地地区农民增收的产业之一^[16~19]。宁夏中部干旱区, 降水稀少, 蒸发强烈, 土壤中缺少氮磷养分及有机质, 而农民在施肥过程中盲目性较大, 存在有机肥施用量过少, 氮肥和磷肥施用量不够等问题。故本文通过对该地区油用向日葵在不同氮肥用量下氮磷钾养分吸收、运转、体内分布特点等方面的研究, 以探明该地区不同氮肥用量下 100 kg 籽实所需 N、P₂O₅、K₂O 量及氮肥用量对籽实产量的影响, 从而确定氮磷钾最佳合理配比, 为该地区油用向日葵精准施肥提供理论支撑。这对于

收稿日期: 2014-02-10

基金项目: 国家自然科学基金(31160416); 国家科技支撑计划课题(2011BAD29B07-05)

作者简介: 王 蓉(1988-), 女, 宁夏固原人, 硕士研究生, 研究方向为植物营养与作物施肥, E-mail: wr951821322@163.com

* 通讯作者: 何文寿(1960-), 男, 宁夏西吉人, 硕士, 教授, 硕士生导师, 主要从事土壤与植物营养学研究工作

大面积推广油用向日葵配方施肥技术、提高肥料利用率、降低生产成本具有十分重要的现实意义和科学价值。

1 材料与方法

1.1 材料与试验基地

油葵品种 S606。肥料:尿素(N 46%)、重过磷酸钙(P₂O₅ 46%)、硫酸钾(K₂O 50%)。

表 1 供试土壤 0~20cm 土层主要理化性质
Table 1 Basic properties of the tested soil

土层深度 Soil depth /cm	有机质 Organic matter /(g/kg)	碱解氮 Avail N /(mg/kg)	速效磷 Avail P /(mg/kg)	速效钾 Avail K /(mg/kg)	全盐 Total salt /(g/kg)	pH (土水比, Soil/water = 1: 5)	质地 Texture
0~30	5.41	20.2	13.2	169.9	0.79	8.64	砂质粘壤土 Sandy clay loam
30~60	4.74	12.3	12.2	110.6	0.70	8.61	砂质粘壤土 Sandy clay loam

1.2 试验设计

在统一施用有机肥(黄腐酸钾)20kg/667m²、生物有机肥(激氮,一种水溶性生物有机肥,其中包含的有机质≥30%,黄腐酸≥16%,巨大芽孢杆菌+胶冻样芽孢杆菌≥2×10⁸个/g,净含量 20kg/袋,购买于宁夏中农合金公司)10kg/667m²的基础上,设置 4 个水平氮肥试验,即分别施氮 0、6、12、18kg/667m²,试验处理为:(1) N₀P₀K₀, (2) N₁P₂K₂, (3) N₂P₂K₂, (4) N₃P₂K₂, 钾肥和磷肥施用量分别为 P₂O₅ 6 kg/667m², K₂O 4kg/667m²。采用单因素(氮素)随机区组试验设计,重复 3 次。双垄双沟全覆盖膜,宽窄行种植,宽行 60cm,窄行 40cm,株距 30cm,每小区种 5 垄 10 行,每行 50 株,小区长 15m,宽 6m,小区面积 90m²,种植密度 4 445 株/667m²,管理同大田。播种日期:2013 年 4 月 22 日,收获日期:2013 年 9 月 7 日。

施肥方法:70%氮肥和全部磷钾肥结合整地基施,其余 30%氮肥于现蕾期水溶追施。

1.3 测试项目与方法

油葵植株样分别隔 10d 在各处理的第三小区随机采集,其中三对叶期采集 10 株,其余各个生育期采 5 株,分别测定不同生育时期不同器官 NPK 养分。

植株 N、P、K 含量的测定方法:将样品冲洗干净后,放入烘箱,在 105℃ 条件下烘 30min,然后在 65℃ 条件下烘 12h 左右。烘干样粉碎后过 0.25mm

试验在宁夏旱作节水高效农业科技园(同心县王团镇)补灌区域进行。该地海拔 1 568m,分布在北纬 36°52′6″,东经 105°59′7″,全年降水量 200~300mm 之间,无霜期 200d 左右,≥10℃ 的积温约 3 000℃,热量充足、昼夜温差大、蒸发量大,农田沙化面积占耕地面积的 20% 以上,土壤肥力水平低下,是我国典型的北方半干旱地区。主要土壤理化性质见表 1。

筛,籽粒用研钵捣碎过 1mm 筛,各器官样品分别用 H₂SO₄-H₂O₂ 消煮,植株的全氮含量、全磷含量、全钾含量分别采用半微量凯氏定氮法、钒钼黄比色法、火焰光度计法测定^[20]。

数据采用 Excel 2007、CurveExpert 软件分析、DPS 统计分析软件。

1.4 数据养分积累量计算公式

各器官 N 养分积累量(g/株) = 各器官干物质重(g/株) × 各器官养分含量(%) / 100。

各器官 P₂O₅ 养分积累量(g/株) = 各器官干物质重(g/株) × 各器官养分含量(%) × 2.291 4 / 100。

各器官 K₂O 养分积累量(g/株) = 各器官干物质重(g/株) × 各器官养分含量(%) × 1.204 6 / 100。

每株油葵总养分积累量 = 根养分积累量(g/株) + 茎干物质重(g/株) + 叶干物质重(g/株) + 空盘干物质重(g/株) + 籽实干物质重(g/株)。

2 结果与分析

2.1 油葵生育期记载

由表 2 看出,油葵 S606 从播种到出苗需要 10d 左右,苗期时长 37d 左右,现蕾期时长 10d 左右,花期时长 10d 左右,成熟期时长 36d 左右,整个生育期时期达 128d 左右。

表 2 油葵生育期记载表
Table 2 Growth period of oilseed sunflower

日期 Date (M/D)	4/22	5/2	5/29	6/8	6/18 ~ 6/28	7/13 ~ 7/23	8/2 ~ 8/23	9/7
生育期 Growth period	播种 Sow	出苗 Emergence	四对叶期 Four - pair - leaves	八对叶期 Eight - pair - leaves	现蕾期 Budding	开花期 Blooming	成熟期 Maturity	收获期 Harvest

2.2 氮素用量对不同生育期油葵各器官 NPK 养分累积量的影响

2.2.1 对各器官 N 养分累积量的影响 由图 1 看出,油葵对氮素的吸收前期主要以叶片为中心,从出苗期到开花期叶片中的氮素含量一直很高,而花期以后含量急剧下降,其中的主要原因是籽粒的生长需要,叶片中的氮素逐渐向籽粒中转移。到成熟期时籽实的含氮量最高,根的含量最低。在苗期、现蕾期、开花期和成熟期,氮素在各器官的含量依次为叶 > 茎 > 根,叶 > 茎 > 根 > 花盘,叶 > 籽实 > 茎 > 花盘 > 根,籽实 > 叶 > 茎 > 花盘 > 根。

各生育期氮素处理对油葵各器官 N 素积累有不同影响(表 1)。在苗期,根含氮量 N₃P₂K₂ 处理最

高,茎和叶的含氮量均是 N₂P₂K₂ 处理最高,N₀P₀K₀ 处理最低。可见,在苗期随施氮量的增加,叶、根、茎的含氮量均增加。在现蕾期,植株营养生长与生殖生长并进,空盘含氮量 N₃P₂K₂ 处理最高,比对照(N₀P₀K₀ 处理)高出 20.98%。在开花期,籽实的含氮量为 N₃P₂K₂ 处理最高,比对照(N₀P₀K₀ 处理)高出 34.19%。在成熟期,根、空盘和籽实的含氮量均为 N₂P₂K₂ 处理最高,分别比对照(N₀P₀K₀ 处理)高出 39.31%、33.92%、22.48%;而叶含氮量是 N₃P₂K₂ 处理最高。这说明不同生育期所需氮量不同,在成熟期,施氮量过高,叶片含氮量也高,会造成贪青徒长,故施氮量应该控制在 N₁P₂K₂ 处理和 N₂P₂K₂ 处理之间。

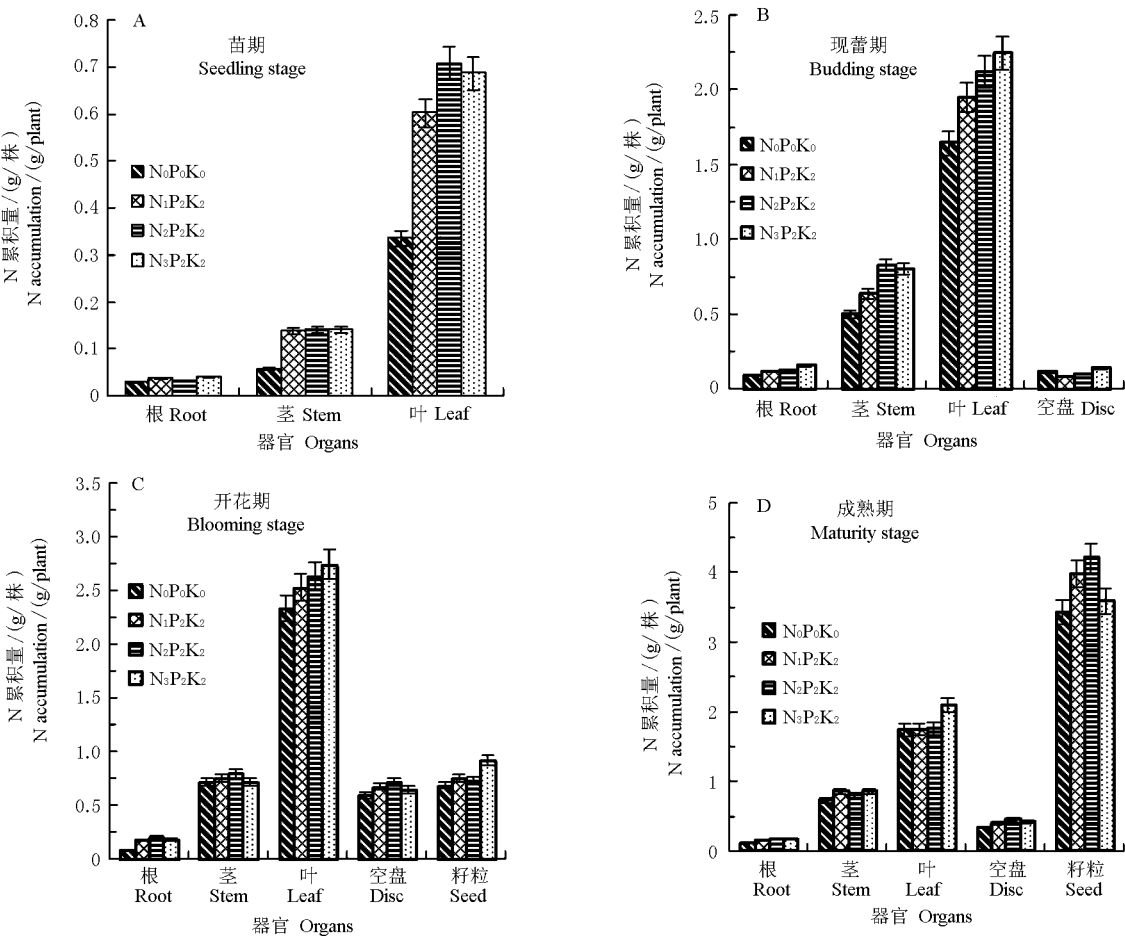


图 1 不同氮素用量在四个生育期对油葵各器官 N 养分积累的影响

Fig.1 Effects of nitrogen fertilizer application on N accumulation in oilseed sunflower at 4 different growth stages

2.2.2 对各器官 P₂O₅ 养分累积量的影响 由图 2 看出,油葵对 P₂O₅ 的积累前期主要以叶片为中心,

从出苗到开花期叶片中的 P₂O₅ 素含量一直很高。花期以后,由于籽粒的生长需要,根、茎、叶和花盘

P_2O_5 含量急剧下降, P_2O_5 逐渐向籽粒中转移。到成熟期时籽实的 P_2O_5 含量最高,根的含量最低。 P_2O_5 在苗期、现蕾期、开花期和成熟期在各器官的含量依次为叶>茎>根,叶>茎>根>花盘,叶>茎>花盘>籽实>根,籽实>叶>茎>花盘>根。

图2所示,在苗期,根、茎和叶的 P_2O_5 含量均是 $N_1P_2K_2$ 处理最高,比对照($N_0P_0K_0$ 处理)分别高出 72.22%、1.44 倍和 79.42%。可见,在苗期,施过量的氮,会阻碍叶、根、茎对 P_2O_5 的积累。在现蕾期,

根、茎、叶和空盘 P_2O_5 含量均是 $N_3P_2K_2$ 处理最高,分别比对照($N_0P_0K_0$ 处理)高出 46.92%、54.72% 和 51.76%、10.55%,说明现蕾期追施氮肥,对 P_2O_5 积累有促进作用。开花期和成熟期,叶 P_2O_5 含量均是 $N_3P_2K_2$ 处理最高,比对照($N_0P_0K_0$ 处理)分别高出 27.57%、26.44%;在成熟期,籽实 P_2O_5 含量是 $N_2P_2K_2$ 处理最高,比对照($N_0P_0K_0$ 处理)高出 23.87%。这说明不同生育期,适量($N_2P_2K_2$ 处理)氮肥用量下可以促进各器官对磷素的吸收。

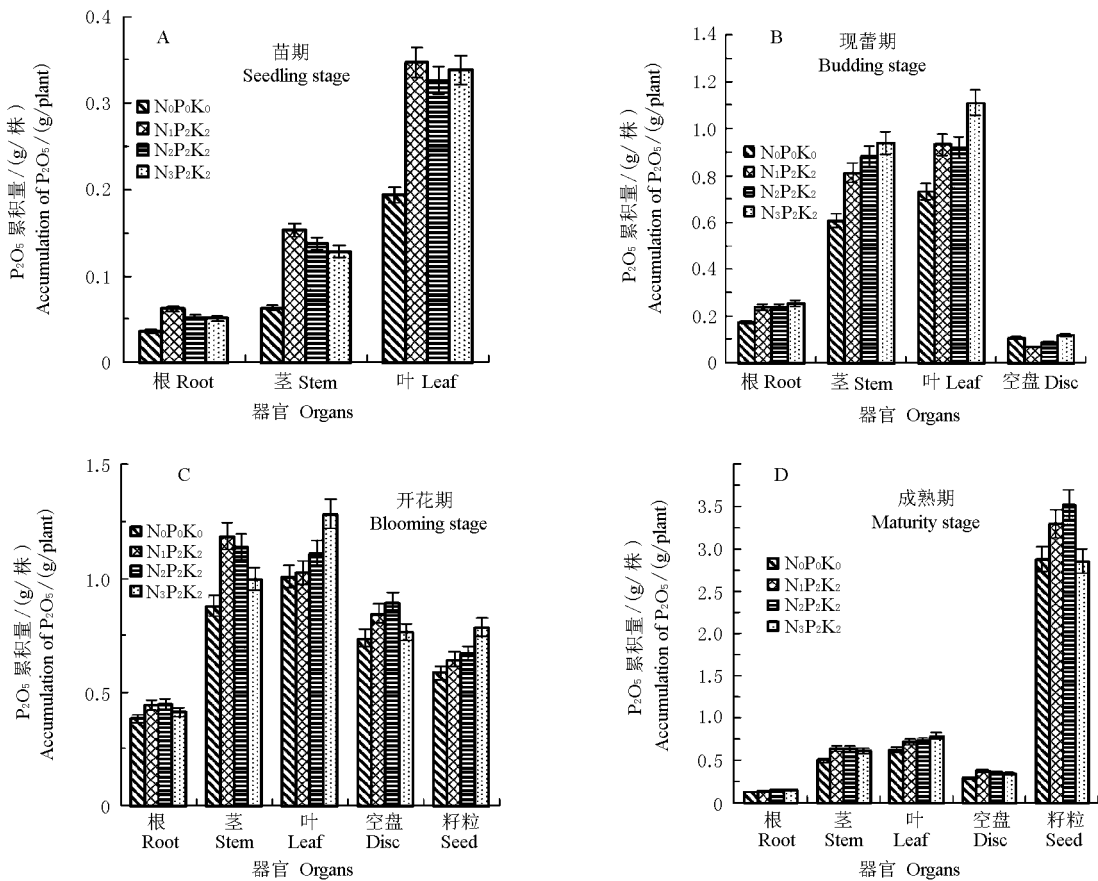


图2 不同氮肥用量在四个生育期对油葵各器官磷素积累的影响

Fig. 2 Effects of nitrogen fertilizer application on P_2O_5 accumulation in oilseed sunflower at 4 different growth stages

2.2.3 对各器官 K_2O 养分积累量的影响 由图3看出,油葵对 K_2O 的积累前期主要以叶片为中心,从出苗到现蕾期叶片中的 K_2O 含量一直很高。现蕾期以后直至成熟期,茎的 K_2O 含量最高,根的含量最低。 K_2O 在苗期、现蕾期、开花期和成熟期在各器官的含量依次为叶>茎>根,叶>茎>根>花盘,茎>叶>花盘>根>籽实,茎>叶>花盘>籽实>根。

结果如图3所示,在苗期,茎和叶的 K_2O 含量均为 $N_2P_2K_2$ 处理最高,比对照($N_0P_0K_0$ 处理)高出 94.14%、74.55%;在现蕾期,根、茎、叶和空盘的 K_2O 含量均为 $N_3P_2K_2$ 处理最高,分别比对照

($N_0P_0K_0$ 处理)高出 64.07%、46.08%、23.54% 和 73.04%,这说明现蕾期追施氮肥有利于油葵各器官对 K_2O 的吸收。开花期,随着生殖生长的旺盛,养分需要量也变大。此时期叶和籽实的 K_2O 含量均为 $N_3P_2K_2$ 处理最高,分别比对照($N_0P_0K_0$ 处理)高出 18.81% 和 44.61%。成熟期,营养器官茎和叶的 K_2O 含量均是 $N_3P_2K_2$ 处理最高,分别比对照($N_0P_0K_0$ 处理)高出 22.72%、34.02%;而生殖器官空盘和籽实的 K_2O 含量均是 $N_2P_2K_2$ 处理最高,分别比对照($N_0P_0K_0$ 处理)高出 46.8%、52.19%。由此可见,氮肥可促进油葵对钾素的吸收,而各器官在不同氮肥用量下对钾素吸收的程度不同。

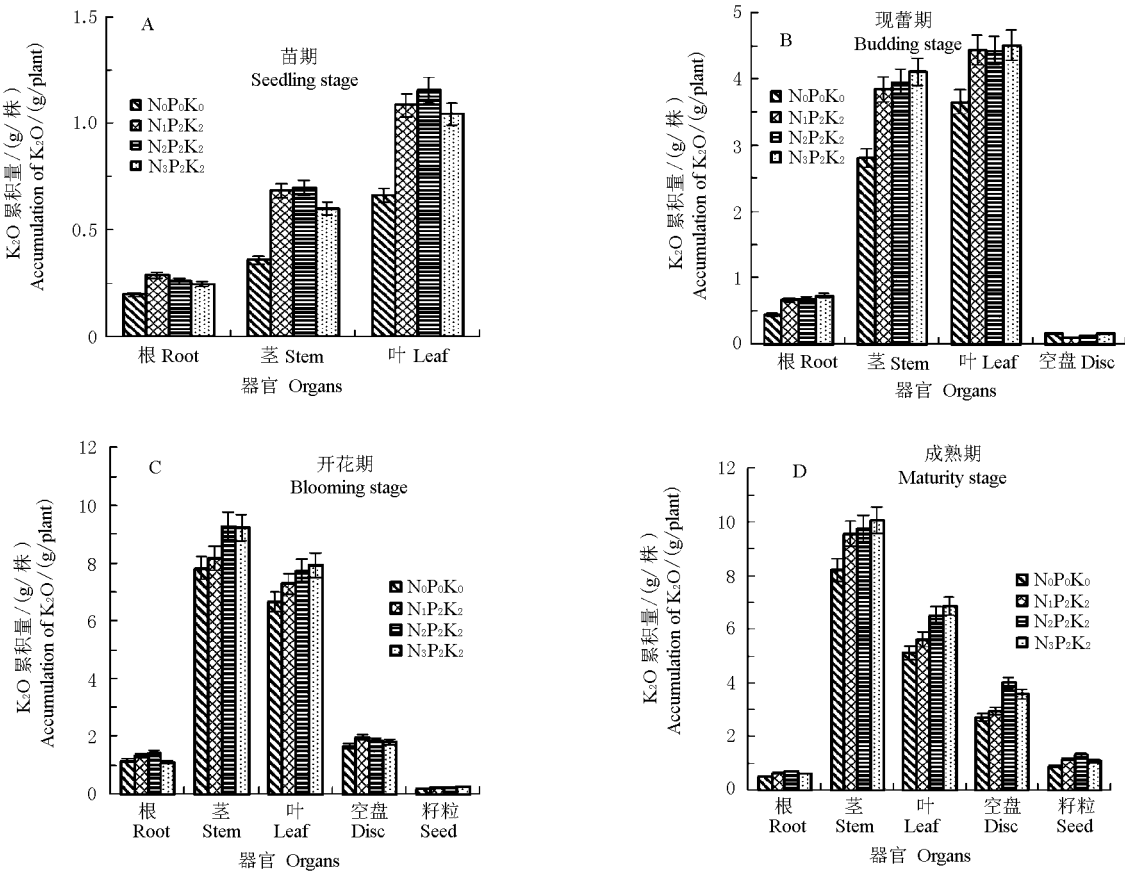


图3 不同氮肥用量在四个生育期对油葵各器官钾素积累的影响

Fig.3 Effects of nitrogen fertilizer application on K₂O accumulation in oilseed sunflower at 4 different growth stages

2.2.4 不同氮素水平下 100kg 籽粒所需氮磷钾养分量 由表 3 看出,100 kg 籽粒所需氮在 5.68 ~ 6.19kg 之间,各处理高低顺序为 N₃P₂K₂ > N₂P₂K₂ > N₁P₂K₂ > N₀P₀K₀;100kg 籽粒所需 P 在 1.89 ~ 2.01 kg 之间,需 P₂O₅ 在 4.32 ~ 4.62kg 之间,各处理高低顺序为 N₃P₂K₂ > N₂P₂K₂ > N₁P₂K₂ > N₀P₀K₀;100kg

籽粒所需 K 在 12.31 ~ 17.60kg 之间,需 K₂O 在 14.82 ~ 21.20kg 之间,各处理高低顺序均表现为 N₃P₂K₂ > N₂P₂K₂ > N₁P₂K₂ > N₀P₀K₀。随着施氮量的增加,氮、钾所占比例有一定的增加。三要素(N : P: K)平均比例为 1: 0.33: 2.43,三要素(N: P₂O₅ : K₂O)平均比例为 1: 0.76: 2.93。

表 3 不同氮肥施用量下 100kg 籽粒所需氮磷钾养分量

Table 3 Required for NPK components 100kg grain under different ratio of nitrogen fertilizer

处理 Treatment	N	P	K	三要素比例 (N: P: K)	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	三要素比例 (N: P ₂ O ₅ : K ₂ O)
N ₀ P ₀ K ₀	5.68	1.89	12.31	1: 0.33: 2.13	5.68	4.32	14.82	1: 0.76: 2.61
N ₁ P ₂ K ₂	5.79	1.94	13.70	1: 0.33: 2.33	5.79	4.45	16.51	1: 0.77: 2.85
N ₂ P ₂ K ₂	5.82	1.94	13.66	1: 0.33: 2.31	5.82	4.46	16.45	1: 0.77: 2.83
N ₃ P ₂ K ₂	6.19	2.01	17.60	1: 0.32: 2.80	6.19	4.62	21.20	1: 0.75: 3.43

2.3 不同氮素水平下单株油葵 NPK 养分累积量的动态变化

2.3.1 N 累积量的动态变化 从实测数据得出,可用 Logistic 方程模拟不同氮肥处理下氮养分的积累动态(表 4)。随着施氮量的增加,氮养分积累始盛期随之提前,但是高峰期和盛末期的到来却随适量施氮量(N₁P₂K₂ 处理)推迟,过量的氮肥(N₃P₂K₂ 处

理)则提前。N₀P₀K₀、N₁P₂K₂、N₂P₂K₂、N₃P₂K₂ 处理渐增期分别长达 45d、42d、39d、38d,快增期分别 32d、40d、41d、36d。而快增期越长,N 素积累就越多,在盛末期,各处理 N 积累量分别为 4.99g/株、5.83g/株、5.92g/株和 5.62g/株。可见,适量氮肥施用量和氮素累积量呈正相关。

表 4 不同氮素水平下单株油葵 N 养分积累模拟
Table 4 N accumulation model of oilseed sunflower

处理 Treatment	模拟方程 Simulation equation	相关系数 Correlation coefficient	始盛期 The beginning stage/d	高峰期 Peak /d	盛末期 The end stage/d
N ₀ P ₀ K ₀	$y = 6.37 / (1 + 142.87e^{-0.0812x})$	0.978 7	45	61	77
N ₁ P ₂ K ₂	$y = 7.38 / (1 + 60.63e^{-0.0663x})$	0.984 4	42	62	82
N ₂ P ₂ K ₂	$y = 7.53 / (1 + 44.91e^{-0.0639x})$	0.975 8	39	60	80
N ₃ P ₂ K ₂	$y = 7.08 / (1 + 64.89e^{-0.0747x})$	0.961 4	38	56	74

由模拟曲线(图 4A)看出,不同氮肥处理下氮养分积累动态呈现“S”型曲线。在各个生育期 N₀P₀K₀ 处理氮养分积累量都明显低于其它三个处

理,在成熟期,分别比 N₁P₂K₂、N₂P₂K₂、N₃P₂K₂ 处理低 14.87%、17.27%、11.1%,即 N₂P₂K₂ 处理最高。

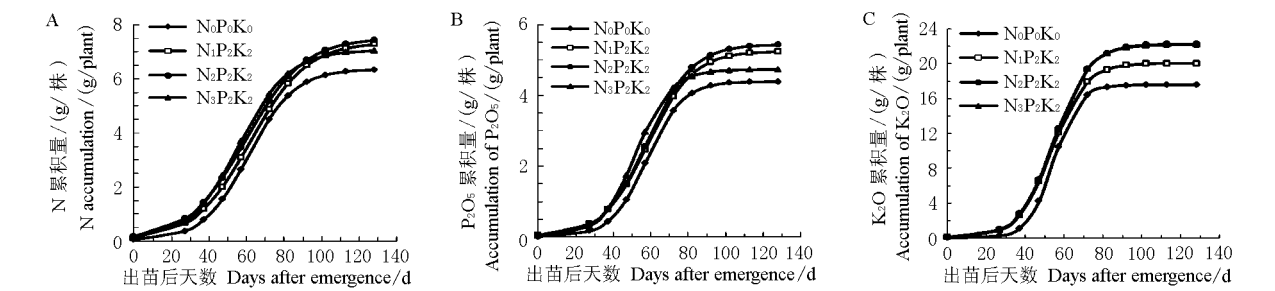


图 4 不同氮素水平下油葵 N(A)、P₂O₅(B)和 K₂O(C) 养分积累模拟曲线
Fig. 4 Simulation curves of N (A), P₂O₅ (B) and K₂O (C) accumulations of oilseed sunflower

2.3.2 P₂O₅ 积累量的动态变化 从实测数据得出,可用 Logistic 方程模拟不同氮肥处理下 P₂O₅ 养分的积累动态(表 5)。随着施氮量的增加,P₂O₅ 养分积累始盛期随之提前,但是高峰期随施氮量变化不显著,过高的施氮量则会提前结束高峰期。盛末期的到来却随适量施氮量(N₁P₂K₂、N₂P₂K₂ 处理)推迟,过量的氮肥(N₃P₂K₂ 处理)则提前。N₀P₀K₀、N₁P₂K₂、N₂P₂K₂、N₃P₂K₂ 处理渐增期分别长达 45d、42d、42d、40d,快增期分别 26d、32d、32d、25d。而快增期越长,P₂O₅ 积累也就越多,在盛末期,各处理

P₂O₅ 积累量分别为 3.50g/株、4.12g/株、4.28g/株和 3.77g/株。可见,适量氮肥施用量促进 P₂O₅ 积累。

由模拟曲线(图 4B)看出,不同氮肥处理下 P₂O₅ 养分积累动态呈现“S”型曲线。在各个生育期 N₀P₀K₀ 处理氮养分积累量都明显低于其它三个处理,在成熟期时,分别比 N₁P₂K₂、N₂P₂K₂、N₃P₂K₂ 处理低 19.31%、23.66%、7.81%,即 N₂P₂K₂ 处理最高。

表 5 不同氮素水平下单株油葵 P₂O₅ 养分积累模拟动态
Table 5 P₂O₅ accumulation model of oilseed sunflower

处理 Treatment	模拟方程 Simulation equation	相关系数 Correlation coefficient	始盛期 The beginning stage/d	高峰期 Peak /d	盛末期 The end stage/d
N ₀ P ₀ K ₀	$y = 4.4 / (1 + 430.15e^{-0.1046x})$	0.981 6	45	58	71
N ₁ P ₂ K ₂	$y = 5.26 / (1 + 121.5e^{-0.0822x})$	0.988 2	42	58	74
N ₂ P ₂ K ₂	$y = 5.45 / (1 + 130.87e^{-0.0835x})$	0.987 4	42	58	74
N ₃ P ₂ K ₂	$y = 4.74 / (1 + 244.28e^{-0.1055x})$	0.964 6	40	52	65

2.3.3 K₂O 积累量的动态变化 从实测数据得出,可用 Logistic 方程模拟不同氮肥处理下 K₂O 养分的积累动态(表 6)。随着施氮量的增加,K₂O 养分积累始盛期随适量施氮量(N₁P₂K₂ 处理)提前,过量的氮肥(N₂P₂K₂、N₃P₂K₂ 处理)则推后。高峰期随施氮量变化不显著。盛末期的到来却随适量施氮量的不同而推迟。N₀P₀K₀、N₁P₂K₂、N₂P₂K₂、N₃P₂K₂ 处理渐增期分别长达 46d、41d、43d、43d,快增期分别

17d、24d、24d、23d。而快增期越长,越有利于对 K₂O 的积累,在盛末期,各处理 K₂O 积累量分别为 13.82g/株、15.86g/株、17.67g/株和 17.33g/株。可见,适量氮肥施用量可以促进 K₂O 积累。

由模拟曲线(图 4C)看出,不同氮肥处理下 K₂O 养分积累动态呈现“S”型曲线。在各个生育期 N₀P₀K₀ 处理氮养分积累量都明显低于其它三处理,在成熟期,分别比 N₁P₂K₂、N₂P₂K₂、N₃P₂K₂ 处理低

14.1%、26.7%、26.22%，即N₂P₂K₂处理最高。

表 6 不同氮素水平下单株油葵 K₂O 养分积累模拟动态
Table 6 K₂O accumulation model of oilseed sunflower

处理 Treatment	模拟方程 Simulation equation	相关系数 Correlation coefficient	始盛期 The beginning stage/d	高峰期 Peak /d	盛末期 The end stage/d
N ₀ P ₀ K ₀	$y = 17.6 / (1 + 4\,384.67e^{-0.153\,7x})$	0.981 6	46	55	63
N ₁ P ₂ K ₂	$y = 20.08 / (1 + 454.92e^{-0.114\,5x})$	0.988 2	41	53	65
N ₂ P ₂ K ₂	$y = 22.3 / (1 + 400.76e^{-0.109\,4x})$	0.987 4	43	55	67
N ₃ P ₂ K ₂	$y = 22.22 / (1 + 425.75e^{-0.110\,9x})$	0.964 6	43	55	66

2.4 不同氮素水平对油葵产量及经济效益的影响

试验结果表明(表 7),不同施氮量对油葵均有一定的增产作用,随着施氮量的增加,产量随之增加,但当施氮量增加到一定量时产量有所下降。处理 N₁P₂K₂、N₂P₂K₂、N₃P₂K₂ 分别比 N₀P₀K₀ 增产 40.65%、19.94%、13.21%,各处理之间差异显著。N₂P₂K₂ 处理肥料经济效益最高,产投比随氮素增加而降低。经回归统计分析(图 5),油葵产量(YN)与施氮量(X)回归方程 $YN = -0.542\,5x^2 + 11.424\,7x + 160.866\,8$ 。当施 N 量增至 10.53kg/667m² 时,油葵产量达到最大,最大值为 221.02kg/667m²。之后随着施 N 量的增大产量缓慢下降。最佳经济效应施氮量为 9.54kg/667m²,产量为 220.48kg/667m² (纯 N 为 5.06 元/kg,油用葵为 4.70 元/kg)。

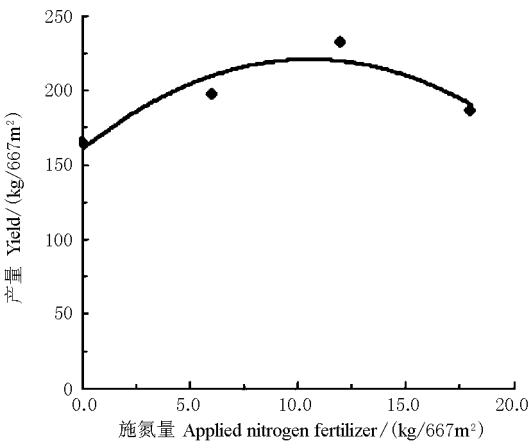


图 5 不同氮素水平对油葵籽实产量的影响
Fig.5 Effects of different ratio of nitrogen fertilizer on yield

表 7 不同氮素用量下油葵的经济效益
Table 7 Effects of different amount of nitrogen application on the price of oilseed sunflower

处理 Treatment	产量 Yield/ (kg/667m ²)	产值 Income /(yuan/667m ²)	氮肥投入 Nitrogen input /(yuan/667m ²)	磷肥投入 Phosphate input /(yuan/667m ²)	钾肥投入 Potash input /(yuan/667m ²)	肥料经济效益 Economics /(yuan/667m ²)	产投比 VCR
N ₀ P ₀ K ₀	164.90c	775.04					
N ₁ P ₂ K ₂	197.78b	929.56	30.36	39.12	34.52	50.52	8.94
N ₂ P ₂ K ₂	231.94a	1 090.13	60.72	39.12	34.52	180.73	8.11
N ₃ P ₂ K ₂	186.69b	877.45	91.08	39.12	-34.52	-62.31	5.33

注:油葵籽实价格为 4.70 元/kg,纯 N 价格为 5.06 元/kg;P₂O₅ 价格为 6.52 元/kg;K₂O 价格为 8.63 元/kg
Note of prices:oilseed sunflower 4.70 yuan/kg, net N nutrients 5.06 yuan/kg; P₂O₅ 6.52 yuan/kg;K₂O 8.63 yuan/kg. VCR:value to cost ratio

3 讨论与结论

研究结果显示,无论施氮肥与否,油葵苗期、现蕾期、开花期和成熟期,N 素在各器官的累积量依次为叶>茎>根,叶>茎>根>花盘,叶>籽实>茎>花盘>根,籽实>叶>茎>花盘>根;磷素(P₂O₅)为叶>茎>根,叶>茎>根>花盘,叶>茎>花盘>籽实>根,籽实>叶>茎>花盘>根;钾素(K₂O)为叶>茎>根,叶>茎>根>花盘,茎>叶>花盘>根>籽实,茎>叶>花盘>籽实>根。这一结果与张维琴^[21]、张君^[10]、李晓慧^[22]等人的结果相似。尽管各研究所选用品种和试验地点不同,但都以苗期叶片为氮、磷、钾营养素的吸收中心。苗期以后,为满足葵盘生长的需要根、茎、叶中的氮、磷素含量迅速

降低。成熟期氮、磷素在籽实中含量最高,而钾素在茎中含量达到最高值,而籽实中钾含量却很低,且在不同生育期,适量的氮肥施入,能够促进各器官对氮磷钾的吸收。

不同氮肥处理下 N、P₂O₅ 和 K₂O 养分积累动态均呈现“S”型曲线,符合 Logistic 方程,且随着施氮量的增加,氮、钾所占比例有一定的增加。100kg 籽粒所需氮、磷(P₂O₅)、钾(K₂O)分别在 5.68~6.19 kg、4.32~4.62kg、14.82~21.20kg 之间。三要素(N:P₂O₅:K₂O)平均比例为 1:0.76:2.93。这一结果与张维琴^[21]、李晓慧^[22]等人及西欧报道^[23]的结果较相近。但刘润萍^[24]研究认为,油葵每形成 100kg 籽粒所需 N 7.4kg、P₂O₅ 1.8kg、K₂O 17.6kg,三要素比例为 4:1:9;李焕春^[12]试验指出,油葵每

生成 100kg 籽实需 N 5.02kg、 P_2O_5 1.62kg、 K_2O 7.64kg,氮、磷、钾三要素比例为 1:0.32:1.5。这可能与油葵品种、土壤肥力等因素有关。在一定范围内施用氮肥对油葵有一定增产作用,当超过需要量时,反而造成产量下降。本研究中,当施 N 量为 10.53kg/667m² 时,油葵产量达到最大,最大值为 221.02kg/667m²,最佳经济效应施氮量为 9.54kg/667m²,相应产量为 220.48kg/667m²。

参考文献:

[1] 王鹏冬,杨新元,贾爱红,等.我国油用型向日葵研究发展概述[J]. 杂粮作物,2005,25(4):241-245.

[2] Nasim W, Ahmad A, Bano A, et al. Effect of nitrogen on yield and oil quality of sunflower (*Helianthus annuus* L.) hybrids under sub humid conditions of Pakistan[J]. American Journal of Plant Sciences, 2012, 3(2):243-251.

[3] 张俊莲,陈勇胜,武季玲,等.向日葵对盐逆境伤害的生理反应及耐盐性研究[J]. 中国油料作物学报, 2003, 25(1):45-49.

[4] 郑青松,陈刚,刘玲,等.盐胁迫对油葵种子萌发和幼苗生长及离子吸收,分布的效应[J]. 中国油料作物学报, 2005, 27(1):60-64.

[5] 张俊莲,张国斌,王蒂.向日葵耐盐性比较及耐盐生理指标选择[J]. 中国油料作物学报, 2006, 28(2):176-179.

[6] Bakht J, Shafi M, Yousaf M, et al. Physiology, phenology and yields of sunflower (Autumn) as affected by NPK fertilizer and hybrids[J]. Pak J Bot, 2010, 42(3):1909-1922.

[7] Awais M, Wajid A, Ahmad A, et al. Narrow plant spacing and nitrogen application enhances sunflower (*Helianthus annuus* L.) productivity[J]. Pak J Agri Sci, 2013, 50(4):689-697.

[8] 李庆文,魏亚范,尤宝庆.向日葵吸肥特征及其对肥料效应的研究[J]. 土壤通报, 1984, 2:76-77.

[9] 张润厚.葵花盘及葵花叶营养成分的研究[J]. 内蒙古农牧学院学报, 1997, 18(2):90-92.

[10] 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.

[11] 魏固宁.食用向日葵氮磷钾肥肥效试验初报[J]. 内蒙古农业科技, 2009(3):29-30.

[12] 李焕春,妥德宝,段玉,等.平衡施肥对油用向日葵养分吸收分配规律的影响[J]. 黑龙江农业科学, 2010(9):50-52.

[13] 陈萍,何文寿,康永利,等.宁夏盐碱胁迫下油用向日葵吸肥规律研究进展[J]. 北方园艺, 2012(1):188-191.

[14] 王德兴,崔良基,宋殿秀,等.氮、磷、钾配施对油葵产量与品质的影响[J]. 辽宁农业科学, 2012(1):4-9.

[15] 邓力群,刘兆普,沈其荣,等.不同施氮水平对滨海盐土上油葵产量与品质的影响[J]. 土壤肥料, 2002(6):24-28.

[16] 董锋.宁夏引黄灌区耕地土壤盐渍化调查与抗盐植物选育[M]. 银川:宁夏人民出版社, 2006. 28-97.

[17] 刘阳春,何文寿,何进智,等.盐碱地改良利用研究进展[J]. 农业科学研究, 2007, 28(2):68-71.

[18] 冯锐,苗济文.宁夏盐碱土改良工作 50 年回顾与展望[J]. 宁夏农林科技, 2000(1):25-30.

[19] 马琼,张伟,马玉兰.宁夏扬黄灌区土壤盐渍化状况分析[J]. 宁夏农林科技, 2005(5):43-44.

[20] 鲍士旦.土壤酸化分析[M]. 北京:中国农业出版社, 2005. 245-271.

[21] 张维琴,李景云,赵国军,等.向日葵对氮、磷、钾营养素的吸收、运转和分配规律的研究[J]. 农业与技术, 1998(4):63-64.

[22] 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.

[23] Cramer G R, Lynch J, Lauchli A, et al. Influx of Na^+ , K^+ and Ca^{2+} into roots of salt stressed cotton seedlings effects of supplemental[J]. Plant Physiol, 1987, 83:510-516.

[24] 刘润萍.盐碱地油葵综合丰产栽培技术[J]. 甘肃农业科技, 2002(5):17-18.

(责任编辑:郭学兰)