

水氮处理对复播油葵产量和水氮利用效率的影响

谈建鑫, 景峰, 刘建国*

(石河子大学新疆兵团绿洲生态农业重点实验室, 新疆 石河子 832003)

摘要:为探明不同水氮处理对复播油葵生长、产量及水氮利用效率的影响,采用裂区设计,设置不同灌水处理:低水处理($2\ 250\ \text{m}^3\cdot\text{hm}^{-2}$)、中水处理($3\ 750\ \text{m}^3\cdot\text{hm}^{-2}$)、高水处理($5\ 250\ \text{m}^3\cdot\text{hm}^{-2}$)和不同施氮处理:不施氮处理($0\ \text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$)、低氮处理($120\ \text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$)、中氮处理($240\ \text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$)、高氮处理($360\ \text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$)进行大田小麦复播油葵试验。结果表明:复播油葵氮素吸收量、氮肥利用效率随灌水量的增加而增加;施氮量在 $0\sim 240\ \text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 时,复播油葵的产量随着施氮量的增加而增加,施氮量超过 $240\ \text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 时增加不显著;随灌水量的增加,复播油葵耗水量增加,水分利用效率先增加后降低,且均在施氮 $240\ \text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 和 $360\ \text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 处理间无显著差异。本试验条件下,生育期内灌水 $5\ 250\ \text{m}^3\cdot\text{hm}^{-2}$ (高水)、施氮 $360\ \text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ (高氮)时,复播油葵的产量为 $3\ 598\ \text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$,生育期中水 $3\ 750\ \text{m}^3\cdot\text{hm}^{-2}$ 、中氮 $240\ \text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 时,复播油葵的单盘粒重、千粒重和产量表现一致,产量为 $3\ 518\ \text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$,综合考虑各因素,中水中氮的处理为产量和效益兼优的最佳组合。

关键词:油葵;灌水;氮;产量;水氮利用效率

中图分类号:S147.3

文献标志码:A

文章编号:2095-6819(2015)05-0456-07

doi: 10.13254/j.jare.2015.0032

Effects of Watering and Nitrogen Fertilization on Yield and Water and Nitrogen Use Efficiency of Cropping Oil Sunflower

TAN Jian-xin, JING Feng, LIU Jian-guo*

(Key Laboratory of Oasis Ecology Agriculture of Xinjiang Bingtuan, Shihezi University, Shihezi 832003, China)

Abstract: The field experiment with split-plot design was conducted to study the effects of the interaction of water and nitrogen fertilization on the growth and yield of oil sunflower, water and nitrogen use efficiency of cropping oil sunflower. This experiment set three irrigation rate treatments, including high irrigation treatment ($5\ 250\ \text{m}^3\cdot\text{hm}^{-2}$), middle irrigation treatment ($3\ 750\ \text{m}^3\cdot\text{hm}^{-2}$), low irrigation treatment ($2\ 250\ \text{m}^3\cdot\text{hm}^{-2}$), and four nitrogen application rate treatments, covering no nitrogen fertilization treatment ($0\ \text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$), low nitrogen application treatment ($120\ \text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$), middle nitrogen application treatment ($240\ \text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$) and high nitrogen application treatment ($360\ \text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$). The results showed that the nitrogen absorption and nitrogen use efficiency of cropping oil sunflower increased as the irrigation rate increased. With the nitrogen application rate increased, the yield of cropping oil sunflower was increased when the nitrogen application rate was $0\sim 240\ \text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$, but beyond the $240\ \text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$, there was no significant increase. With the irrigation rate increased, the water consumption amount of cropping oil sunflower increased all the time, but the water use efficiency increased first, and then decreased. Besides there was no significant difference between $240\ \text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ and $360\ \text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ treatment. Under our experiment condition, during the cropping oil sunflower growth period, when the irrigation rate was $5\ 250\ \text{m}^3\cdot\text{hm}^{-2}$ (high irrigation rate) and the nitrogen fertilization was $360\ \text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ (high nitrogen application rate), the yield of cropping oil sunflower was $3\ 598\ \text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$. When the irrigation rate was $3\ 750\ \text{m}^3\cdot\text{hm}^{-2}$ (middle irrigation rate) and the nitrogen fertilization was $240\ \text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ (middle nitrogen application rate), the yield was $3\ 518\ \text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$, with the yield components similar with the high irrigation rate and high nitrogen application rate treatment. Considering various factors, middle irrigation rate and middle nitrogen fertilization treatment could be the optimal combination for the high yield and high efficiency.

Keywords: oil seed sunflower; watering; nitrogen; yield; water and nitrogen use efficiency

向日葵是四大油料作物,也是中国主要油料作物,主要具有生育期短、适应性强、含油率高、经济效

益显著等优点^[1-3]。天山北坡地区小麦收获后还有足够光、热等资源,滴灌技术配合相应免耕播种技术的开发应用,可做到滴灌小麦收获后及时复播早熟油葵,提高光、热、水、土等资源的利用效率。氮肥和水分是农业生产最为重要的两大投入要素。然而,新疆绿洲全年降雨量不足,仅为全国平均降雨量的四分之一^[3],水资源短缺和施肥不合理是造成油葵减产的主要原因

收稿日期:2015-01-30

基金项目:国家“十二五”科技支撑计划项目(2012BAD42B03)

作者简介:谈建鑫(1991—),男,甘肃定西人,硕士研究生,研究方向为绿洲农作制度。E-mail: 990020503@qq.com

*通信作者:刘建国 E-mail: l-jianguo@126.com

因,农业生产中为追求高产而存在过量施氮和灌溉的现象,也会导致油葵产量和氮肥利用率降低^[3-4],所以对不同水氮条件下复播油葵的生长发育、产量形成及水氮利用效率的研究具有重要意义。

目前,国内外对复播油葵研究主要集中在不同条件,如:气候因素、耕作方式、灌溉模式、灌水和施肥量和盐胁迫等对复播油葵的生长发育、产量、品质、水氮利用效率以及对土壤理化性状的影响等方面^[5-9]。而对油葵产量和水氮利用的研究多集中在水、肥单因子效应方面,王振华等^[3]研究了滴灌对北疆复播油葵的耗水和产量效应,结果表明过高灌水量会造成油葵植株叶面积、株高的增加,而油葵产量不再增加甚至减产,得出滴灌复播油葵的灌溉定额为 $2\ 860\text{ m}^3\cdot\text{hm}^{-2}$ 。王蓉等^[4]对油葵氮素用量的研究表明,适当增加施氮量有增产作用,超过一定量后,油葵产量反而下降,油葵的最佳经济效益产量为 $3\ 307.2\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 。水氮具有协同效应,水氮耦合效应对作物缺水造成的不利影响有一定缓解作用,在适宜施氮范围内,水的增产效应是随着氮素水平的提高而变得明显^[10]。因此,合理协调水分与氮素之间的关系,将水氮结合起来研究其交互作用对滴灌条件下复播油葵产量形成特性及水氮利用的影响,为复播油葵高效水氮调控和丰产提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验区概况

试验于2013年在石河子大学农学院试验站进行(北纬 $44^{\circ}18'$,东经 $86^{\circ}03'$),海拔440 m,无霜期为168~171 d, $\geq 10\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的活动积温为 $3\ 570\sim 3\ 729\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。土壤为砂壤土,土壤有机质含量1.12%,全氮 $0.68\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ 、速效磷(P_2O_5) $33.4\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 、速效钾(K_2O) $194\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 、碱解氮 $61\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 。土壤容重为 $1.32\text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$,田间持水量24.0%,地下水位2 m以下。前茬小麦品种选用新春6号,复播油葵品种为新葵杂10号,2014年7月4日播种。

1.2 试验设计

试验采用完全随机裂区设计:主区为灌水处理,设3个水分水平,分别为: $2\ 250\text{ m}^3\cdot\text{hm}^{-2}$ (W1,即低水处理)、 $3\ 750\text{ m}^3\cdot\text{hm}^{-2}$ (W2,即中水处理)、 $5\ 250\text{ m}^3\cdot\text{hm}^{-2}$ (W3,即高水处理),各水平分4次灌水: $2\ 250\text{ m}^3\cdot\text{hm}^{-2}$ (出苗 $900\text{ m}^3\cdot\text{hm}^{-2}$,现蕾期 $450\text{ m}^3\cdot\text{hm}^{-2}$,开花期 $450\text{ m}^3\cdot\text{hm}^{-2}$,灌浆期 $450\text{ m}^3\cdot\text{hm}^{-2}$)、 $3\ 750\text{ m}^3\cdot\text{hm}^{-2}$ (出苗 $1\ 500\text{ m}^3\cdot\text{hm}^{-2}$,现蕾期 $750\text{ m}^3\cdot\text{hm}^{-2}$,开花期 $750\text{ m}^3\cdot\text{hm}^{-2}$,灌浆期 $750\text{ m}^3\cdot\text{hm}^{-2}$)、 $5\ 250\text{ m}^3\cdot\text{hm}^{-2}$ (出苗 $2\ 100$

$\text{m}^3\cdot\text{hm}^{-2}$,现蕾期 $1\ 050\text{ m}^3\cdot\text{hm}^{-2}$,开花期 $1\ 050\text{ m}^3\cdot\text{hm}^{-2}$,灌浆期 $1\ 050\text{ m}^3\cdot\text{hm}^{-2}$);副区为施氮处理,设4个氮素水平,分别为: $0\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ (N0,即生育期不施氮肥)、 $120\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ (N1,即低氮处理)、 $240\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ (N2,即中氮处理)、 $360\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ (N3,即高氮处理)。各施氮水平分4次施氮: $120\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ (苗期施氮: $18\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$,现蕾期施氮: $36\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$,开花期施氮: $36\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$,灌浆期施氮: $30\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$); $240\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ (苗期施氮: $36\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$,现蕾期施氮: $72\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$,开花期施氮: $72\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$,灌浆期施氮: $60\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$); $360\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ (苗期施氮: $54\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$,现蕾期施氮: $108\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$,开花期施氮: $108\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$,灌浆期施氮: $90\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$);共12个处理,主副区内随机排列,每处理3次重复,共36个小区,每小区 15 m^2 。为消除小区间的水分和氮素移动,各处理之间设1 m间隔带,沿用前茬滴灌小麦滴灌设施(1管4行),复播油葵行距为60 cm等行距,株距18 cm,密度为 $92\ 000\text{ 株}\cdot\text{hm}^{-2}$,每个处理都设独立的支管控制单元,包括水表、闸阀、施肥罐各1支,用于控制各处理水肥的投入,其他管理措施与大田生产一致。

1.3 测定项目与方法

1.3.1 叶面积指数

作物各个生育期每个小区内均选取5株植株测定叶面积。叶面积计算用系数法^[11];叶面积(cm^2)=长(cm) \times 宽(cm) $\times 0.7$;叶面积指数(LAI)=取样植株叶面积之和/样段占地面积。

1.3.2 干物质测定

各生育期于每个小区选取具有代表性的油葵植株5株,从苗期至成熟期,将作物地上部分从基部剪去,洗净按器官分开,取叶片、茎秆、花盘于 $105\text{ }^{\circ}\text{C}$ 杀青30 min, $80\text{ }^{\circ}\text{C}$ 烘干至恒量,称量并换算为地上部分生物量。

1.3.3 土壤水分含量

油葵播种前,每个小区各安装一组water-mark土壤水分检测仪,测定0~80 cm土层土壤水分,每20 cm为一层,隔日测定1次,每次灌水前后追加测定。复播油葵耗水量采用水量平衡法计算^[12]。计算公式简化为:

$$ETa=I+P+(W0-W1) \quad (1)$$

式中:ETa为复播油葵耗水量(mm),I为灌水量(mm),P为降雨量(mm),W0、W1为时段初和时段末的土壤储水量(mm)。

水分利用效率(WUE)计算公式:

$$WUE=Y/ETa \quad (2)$$

式中: Y 为作物产量 ($\text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$), ETa 为油葵实际耗水量 (mm)。

1.3.4 植株全氮含量

收获后将整株油葵植株烘干粉碎,用 $\text{H}_2\text{SO}_4\text{-H}_2\text{O}_2$ 消煮后用凯氏定氮仪测定全氮含量。植株总吸氮量用以下公式计算:

$$\text{吸氮量}(\text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}) = \text{植株生物量}(\text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}) \times \text{含氮量}(\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}) / 1000 \quad (3)$$

氮肥利用率 (NUE) 用以下公式计算:

$$NUE(\%) = (\text{施氮条件下作物吸氮量} - \text{不施氮条件下作物吸氮量}) \times 100 / \text{施氮量} \quad (4)$$

1.3.5 产量及产量构成

油葵成熟期于每个小区选取有代表性连续 10 株植株,测量葵盘直径、千粒重和单盘粒重;每个小区实打实收计算油葵产量。

1.4 数据处理

采用 SPSS 19.0 和 EXCEL 2003 进行处理数据和统计分析。

2 结果与分析

2.1 灌水和施氮对复播油葵生育期叶面积指数的影响

从图 1 可以看出,不同灌水处理间比较,出苗后 20 d(苗期)叶面积指数在 W1、W2 和 W3 处理间差异不显著,说明前茬作物收获后土壤含有一定水分对苗期叶面积指数影响较大;出苗后 30 d(苗期)和 40 d(现蕾期),W1、W2 和 W3 处理间差异显著;出苗后 50 d(花期)和 70 d(灌浆期),W2 和 W3 处理显著高于 W1。

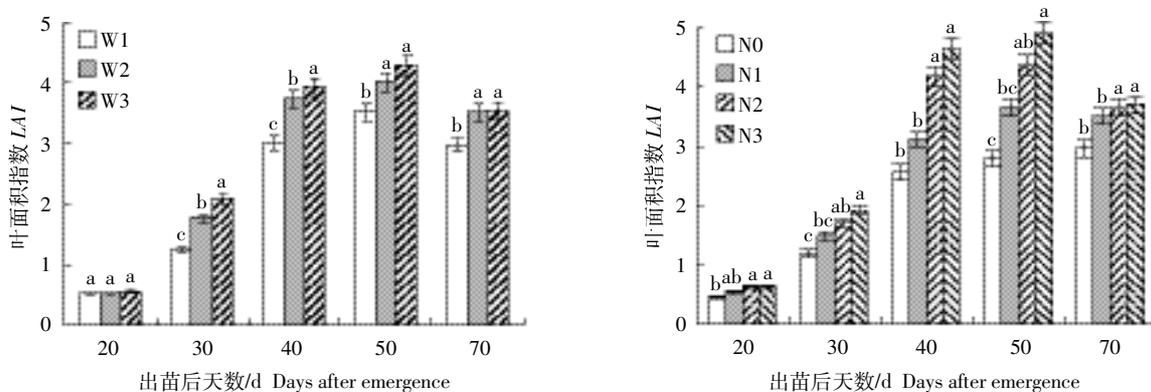
不同施氮处理间比较,各个时期叶面积指数表现为: $N3 > N2 > N1 > N0$, 即复播油葵各个时期的叶面积指

数随着施氮量的增加而增加; $N0$ 处理和 $N1$ 处理的叶面积指数在各个时期均无显著差异,说明前茬作物收获后残留氮素对各个时期植株叶面积指数影响较大;在各个时期, $N3 > N2$, 且两处理间无显著差异,即施氮量过高时复播油葵的叶面积指数增加不显著;在各个时期 $N2$ 处理与 $N0$ 处理均有显著差异,出苗后 20、30、50 d $N2$ 处理与 $N1$ 处理无显著差异。

2.2 灌水和施氮对复播油葵生育期地上部生物量的影响

不同灌水处理间比较,各生育期复播油葵地上部干物质积累量随灌水量的增加而增加(图 2)。苗期和现蕾期,地上部干物质积累量在各个灌水处理之间均无显著差异,苗期、现蕾期、开花期 W1 处理的地上部生物量和 W2 无显著差异,灌浆期和成熟期 W1 处理的地上部生物量和 W2 处理有显著差异,表明前茬作物收获后土壤含有一定水量对复播油葵前期的地上部生物量影响较大;除成熟期外,其他各个生育期 W2 处理的地上部生物量和 W3 处理差异不显著;在成熟期,各灌水处理之间的地上部生物量均有显著差异。

不同施氮处理间比较,在各个生育期随着施氮量的增加地上部生物量逐渐增加,在施氮量为 $360 \text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 时达到最大,但施氮量过高时,地上部生物量增加不再显著。苗期、现蕾期、开花期、灌浆期 $N0$ 处理的地上部生物量和 $N1$ 处理无显著差异,成熟期 $N0$ 处理的地上部生物量和 $N1$ 处理有显著差异。开花期和灌浆期, $N1$ 、 $N2$ 、 $N3$ 处理间均无显著差异,苗期、现蕾期、成熟期 $N3$ 处理的地上部生物量显著高于 $N1$ 处理。除成熟期外 $N1$ 处理各个生育期的地上部生物量和 $N2$ 处理均无显著差异。



不同小写字母表示同一出苗天数后各处理差异达 5% 显著水平

图 1 灌水和施氮对油葵生育期叶面积指数的影响

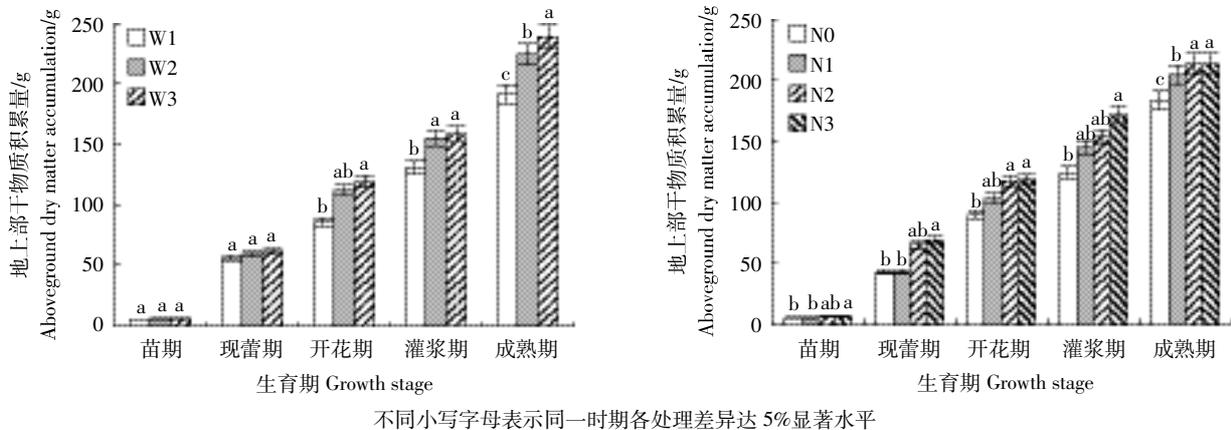
Figure 1 Effects of irrigation and nitrogen application on leaf area index of sunflower at growth stage

2.3 不同水氮处理下复播油葵产量及其构成因素

由表1可知,在不同灌溉水量下,复播油葵葵盘直径随着施氮量的增加而增加,产量也表现出相同的趋势。施氮量为360 kg·hm⁻²均最高,不施氮处理最小,但N3处理与N2处理差异不显著,与N0处理差异显著,说明适宜的施氮量能有效促进油葵葵盘直径的增加,从而提高油葵产量。在不同的灌溉水量下,各施氮处理的葵盘直径平均值表现为:W3较W2和W1分别增加0.68、1.81 cm。由此可见,过低的灌溉水量会抑制油葵葵盘直径,灌溉水量过高则增加不明显。

在相同施氮条件下,油葵的千粒重随灌水量的增加而增加,表现为W3>W2>W1。在一定的灌水量下,不同施氮处理间比较,N3处理的千粒重均最高,且与N2处理间无显著差异,与N0处理差异均显著,表明过低的施氮量显著影响了复播油葵千粒重的增加,适当的增加施氮量会提高油葵的千粒重,从而增加产量。单盘粒重由油葵的单盘粒数和千粒重计算而来,是直接反映产量的指标,故单盘粒重和产量表现出完全一致的规律。

不同水氮处理下,复播油葵的产量以W3N3处理最高,为3598.2 kg·hm⁻²。相同施氮条件下,复播油葵



不同小写字母表示同一时期各处理差异达5%显著水平

图2 灌水和施氮对油葵生育期地上部生物量的影响

Figure 2 Effects of irrigation and nitrogen application on aboveground dry matter accumulation of sunflower at growth stage

表1 不同处理下对产量及构成因子的影响

Table 1 Yield and yield components under different treatments

灌溉水平 Irrigation	施氮量 Nitrogen application	葵盘直径 Diameter of disc/cm	单盘粒重 Grain weight of every disc/g	千粒重 Weight of 1 000-seeds/g	产量 Grain Yield/kg·hm ⁻²
W1	N0	12.53f	39.97c	37.34d	2 194.3c
	N1	13.65ef	44.19c	42.30c	2 301.8c
	N2	14.87cd	45.42bc	42.90bc	2 522.2bc
	N3	16.00bc	54.72b	48.01bc	2 850.3b
	平均 Average	14.26	46.08	42.38	2 467.2
W2	N0	14.49de	44.11c	43.59bc	2 436.8c
	N1	14.83cd	63.78a	49.65ab	3 322.3a
	N2	15.63bcd	67.45a	48.09abc	3 513.3a
	N3	16.60b	68.36a	53.37a	3 560.9a
	平均 Average	15.39	60.93	48.68	3 208.3
W3	N0	13.34ef	45.32c	43.87bc	2 360.5c
	N1	15.27cd	62.77a	46.5bc	3 269.6a
	N2	17.75a	67.74a	53.62a	3 528.3a
	N3	17.93a	69.08a	53.32a	3 598.2a
	平均 Average	16.07	61.48	49.33	3 169.4

注:同列不同小写字母表示差异达5%显著水平。

产量在不同灌水处理间的表现为 W2>W3>W1, 并且 W3 处理油葵平均产量较 W3 和 W1 处理分别提高 1.2%和 23.1%,表明适当灌溉水量能提高复播油葵产量,灌溉水量过量会造成油葵减产。相同灌水处理下,不同施氮处理间比较,复播油葵产量均以 N3 处理最高,且与 N2 处理无显著差异。

2.4 不同水氮处理下复播油葵的水氮利用率

由表 2 可知,不同水氮处理对复播油葵田间耗水量及吸氮量均有不同程度的影响。复播油葵生育期总耗水量介于 313.4~498.7 mm 之间;同一施氮条件下,耗水量随着灌水量的增加而增加,与 W1 处理相比,W2 和 W3 处理分别增加了 10 mm 和 154.9 mm;相同灌水条件下,耗水量随着施氮量的增加而增加,N3 处理最高,但与 N2 处理无显著差异。由此说明灌水和施氮均可以提高复播油葵的耗水量。

水分利用效率介于 4.97~10.28 kg·hm⁻²·mm⁻¹ 之间。在相同灌水条件下,施氮处理的水分利用效率均高于不施氮处理,但 N1、N2、N3 处理间无显著差异,说明施氮能提高复播油葵的水分利用效率,但过高施氮量下水分利用效率增加不明显;在相同施氮条件下,W2 处理的水分利用效率最高,W2 处理比 W1 和 W3 处理分别增加了 1.96 kg·hm⁻²·mm⁻¹ 和 2.10 kg·

hm⁻²·mm⁻¹,说明过高或过低灌水量均不能达到较高的水分利用效率。

复播油葵的总吸氮量在 66~169 kg·hm⁻² 之间。W3N3 处理总吸氮量最高,在相同灌水处理下,N3 处理与 N2 处理无显著差异;相同施氮处理下,复播油葵的总吸氮量随着灌水量的增加而增加。

复播油葵的氮肥利用率在 16.6%~31.7%之间。各灌水处理下,氮肥利用率以 N2 处理最高,当施氮量大于 240 kg·hm⁻² 时,氮肥利用率降低,表明过量施用氮肥会导致氮肥利用率降低;相同施氮条件下,氮肥利用率随灌水量的增加而增加,表明增加灌水可提高复播油葵对氮肥的利用效率。

3 讨论

水肥是作物生长的主要限制因子^[3]。有研究表明,在干旱区地区,复播油葵自现蕾期开始,叶面积指数随着灌水量的增加而增加,灌水量为 3 600 m³·hm⁻² (该试验最大灌水量)时株高和叶面积指数均最大,中水处理下复播油葵水分利用效率最高^[3]。在本试验中,灌水量最大时(5 250 m³·hm⁻²)叶面积最大,且与中水处理(3 750 m³·hm⁻²)处理无显著差异,与该研究相似。王德兴等^[4]研究表明,增加氮肥的施用量能够明

表 2 不同处理的水、氮利用率

Table 2 Water use efficiency (WUE) and N use efficiency (NUE) under different treatments

灌溉水平 Irrigation	施氮量 Nitrogen application	耗水量 Water consumption/mm	产量 Grain yield/kg·hm ⁻²	水分利用效率 WUE/kg·hm ⁻² ·mm ⁻¹	总吸氮量 Total nitrogen absorption/kg·hm ⁻²	氮肥利用率 NUE/%
W1	N0	313.4f	2 194.3c	7.00c	66f	—
	N1	323ef	2 301.8c	7.13c	86f	16.6e
	N2	333.9cde	2 522.2bc	7.55c	128.4cd	26c
	N3	347.9cd	2 850.3b	8.19bc	129.7cd	17.7e
	平均 Average	329.6	2 467.2	7.49	102.5	20.1
W2	N0	323.2def	2 436.8c	7.54c	77.7f	—
	N1	337.9cde	3 322.3a	9.83ab	107e	24.4c
	N2	348.3cd	3 513.3a	10.10a	148bc	29.3a
	N3	349.1c	3 560.9a	10.28a	152abc	20.6d
	平均 Average	339.6	3 208.3	9.45	132.3	24.8
W3	N0	475.2b	2 360.5c	4.97d	86f	—
	N1	477.2b	3 269.6a	6.88c	118d	26.7b
	N2	486.9ab	3 528.3a	7.25c	162ab	31.7a
	N3	498.7a	3 598.2a	7.05c	169a	23.1c
	平均 Average	484.5	3 169.4	7.35	149.8	27.1
F 检验	灌水量	0.000**	0.004**	0.001**	0.003**	0.012*
	施氮量	0.001**	0.005**	0.014*	0.000**	0.006**
	灌水×施氮量	0.000**	0.000**	0.002**	0.000**	0.000**

注:同列不同小写字母表示达 5%显著水平;“*”、“**”分别表示在 0.05 和 0.01 水平下差异显著。

显提高油葵干物质的积累量,与本试验中得出的结论一致,N3处理干物质积累量最大。油葵各个主要生育时期的叶面积反映了植株健康成长过程,过低的叶面积导致营养供应不足,干物质积累量不高,会影响到下一阶段的生长发育,必将会影响到产量;叶面积高则表明田间养分供应充足,干物质积累量大,容易形成高产,但过高的叶面积指数会形成植株旺长,造成减产。

水分和氮素对作物的功能有所不同,两者之间互相作用,水可调肥,肥也可调水,适当增加施氮量可以在一定程度上降低水分不足造成的减产,同时农田水分含量会影响作物对氮肥的吸收和利用^[11,15-17]。水分不足能抑制作物生长发育和产量形成,水分供应过多会造成营养生长和生殖生长失调,过量施氮则会降低氮肥利用效率和形成增产效果^[18-19]。相关研究表明:在不同灌水量下,同一施氮量所获得的产量不相同,一般肥效随灌水量的增加而提高^[1]。本研究中,复播油葵总吸氮量均随施氮量、灌水量的增加而增加,施氮量超过 240 kg·hm⁻²时,不再显著增加。各个灌水处理下的 N2 处理氮素利用率均最高,表明适当的灌水和施氮均能增加复播油葵产量,促进氮素吸收,以 240 kg·hm⁻²时的施氮量最佳,多施无益。所以,在不同生育时期,灌水和施用适量的氮肥,能够促进油葵对氮素的吸收,同时还能提高氮素利用率,当超过需要量时造成产量下降^[20]。

水氮互作对作物产量和氮肥利用率均有影响,对水分利用效率也有影响^[10,21]。王振华等^[9]对新疆复播油葵的研究表明:采用中等灌溉量能够达到最大的水分利用效率,并且产量最高。本研究得出相似结果:中水处理(W2)下复播油葵的水分利用效率最高,施氮处理的水分利用效率明显高于未施氮处理,且 N1、N2、N3 之间无显著差异。表明增施适量氮肥能提高油葵水分利用效率,但超过一定量后水分利用效率不再显著增加。

4 结论

综上所述,在本试验条件下,施氮量超过 240 kg·hm⁻²时,油葵产量、水分利用效率和氮素利用效率不再显著增加;灌水量超过 3 750 m³·hm⁻²时,油葵的产量、水分利用效率也不再显著增加。可见,灌水量为 3 750 m³·hm⁻²,施氮量为 240 kg·hm⁻²时,复播油葵的水分利用效率最大,同时还能获得高产和较高的氮素利用率,因此,该处理为免耕复播油葵最佳水氮组合。

参考文献:

- [1] 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.
- [2] Bakht J, Shafi M, Yousaf M, et al. Physiology, phenology and yields of sunflower (autumn) as affected by NPK fertilizer and hybrids[J]. *Pakistan Journal of Botany*, 2010, 42(3): 1909-1922.
- [3] 王振华,郑旭荣,宋常吉.滴灌对北疆复播油葵耗水和生长的影响效应[J].核农学报,2014,28(5):919-928.
WANG Zhen-hua, ZHENG Xu-rong, SONG Chang-ji. Effect of drip irrigation on water consumption and growth of oil sunflower in northern Xinjiang[J]. *Journal of Nuclear Agricultural Sciences*, 2014, 28(5): 919-928. (in Chinese)
- [4] 王 蓉,何文寿,马玉波,等.氮素用量对油葵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.
WANG Rong, HE Wen-shou, MA Yu-bo, et al. Effects of nitrogen fertilizer application on NPK accumulations and yield for oil seed sunflower[J]. *Chinese Journal of Oil Crop Sciences*, 2014, 36(4): 494-501. (in Chinese)
- [5] 杨相昆,魏建军,张占琴,等.保护性耕作对复播油葵干物质动态变化的影响[J].西北农业学报,2012,21(4):71-76.
YANG Xiang-kun, WEI Jian-jun, ZHANG Zhan-qin, et al. Dynamic change of dry matter accumulation and distribution of sunflower under conservation tillage in stubble-field[J]. *Acta Agriculturae Boreali-occidentalis Sinica*, 2012, 21(4): 71-76. (in Chinese)
- [6] 蒋桂英,魏建军,刘建国,等.滴灌条件下免耕对复播油葵土壤水分利用及产量的影响[J].水土保持学报,2012,26(6):301-304.
JIANG Gui-ying, WEI Jian-jun, LIU Jian-guo, et al. Effects of drip irrigation with no-tillage on multiple sunflower cropping soil water and yield[J]. *Journal of Soil and Water Conservation*, 2012, 26(6): 301-304. (in Chinese)
- [7] 刁 明,刘建国,张晓波.气候因素对北疆复播油葵籽粒灌浆的影响[J].石河子大学学报(自然科学版),2001,5(4):281-283.
DIAO Ming, LIU Jian-guo, ZHANG Xiao-bo. A study on effect of climatic factors on filling stage on multiple cropping oil sunflower in north Xinjiang[J]. *Journal of Shihezi University (Natural Science)*, 2001, 5(4): 281-283. (in Chinese)
- [8] 侯振安,刘小玉,龚 江,等.北疆滴灌小麦一年两作农田土壤养分动态变化研究[J].石河子大学学报(自然科学版),2012,30(6):666-671.
HOU Zhen-an, LIU Xiao-yu, GONG Jiang, et al. Soil nutrient dynamics in wheat-based multiple cropping field under drip irrigation[J]. *Journal of Shihezi University (Natural Science)*, 2012, 30(6): 666-671. (in Chinese)
- [9] 杨相昆,魏建军,张 力,等.春播与复播油葵产量形成及群体生理参数比较研究[J].中国油料作物学报,2014,36(1):59-65.
YANG Xiang-kun, WEI Jian-jun, ZHANG Li, et al. Comparative study of grain yield and canopy physiological parameter of oil-sunflower be-

- tween spring sowing and stubble-field[J]. *Chinese Journal of Oil Crop Sciences*, 2014, 36(1): 59–65.(in Chinese)
- [10] 邓 忠, 白 丹, 翟国亮, 等. 膜下滴灌水氮调控对南疆棉花产量及水氮利用率的影响[J]. *应用生态学报*, 2013, 24(9): 2525–2532. DENG Zhong, BAI Dan, ZHAI Guo-liang, et al. Effects of water and nitrogen regulation on the yield and water and nitrogen use efficiency of cotton in the south Xinjiang, northwest China under plastic mulched drip irrigation[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2013, 24(9): 2525–2532.(in Chinese)
- [11] 谢英荷, 栗 丽, 洪坚平, 等. 施氮与灌水对夏玉米产量和水氮利用的影响[J]. *植物营养与肥料学报*, 2012, 18(6): 1354–1361. XIE Ying-he, LI Li, HONG Jian-ping, et al. Effects of nitrogen and irrigation on summer maize yield, water use efficiency and nitrogen use efficiency[J]. *Journal of Plant Nitrogen and Fertilizer*, 2012, 18(6): 1354–1361.(in Chinese)
- [12] Mofoke A L E, Adexumi J K, Babatunde F E, et al. Yield of tomato grown under continuous-flow drip irrigation in Bauchi state of Nigeria [J]. *Agricultural Water Management*, 2006, 84: 166–172.
- [13] 宋 娜, 王凤新, 杨晨飞, 等. 水氮耦合对膜下滴灌马铃薯产量、品质及水分利用的影响[J]. *农业工程学报*, 2013, 26(13): 98–105. SONG Na, WANG Feng-xin, YANG Chen-fei, et al. Coupling effects of water and nitrogen on yield, quality and water use of potato with drip irrigation under plastic film mulch[J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2013, 26(13): 98–105.(in Chinese)
- [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. WANG De-xing, CUI Liang-ji, SONG Dian-xiu, et al. Effects of nitrogen, phosphorus and potassium fertilizers on yield and quality of oil-sunflower[J]. *Liaoning Agricultural Sciences*, 2012(1): 4–9.(in Chinese)
- [15] 栗 丽, 洪坚平, 王宏庭, 等. 水氮互作对冬小麦耗水特性和水分利用效率的影响[J]. *水土保持学报*, 2012, 26(6): 291–296. LI Li, HONG Jian-ping, WANG Hong-ting, et al. Effects of nitrogen and irrigation interaction on water consumption characteristics and use efficiency in winter wheat[J]. *Journal of Soil and Water Conservation*, 2012, 26(6): 291–296.(in Chinese)
- [16] 马兴华, 王 东, 于振文, 等. 不同施氮量下灌水量对小麦耗水特性和氮素分配的影响[J]. *生态学报*, 2010, 30(8): 1955–1965. MA Xing-hua, WANG Dong, YU Zhen-wen, et al. Effects of irrigation amount under different nitrogen levels on water consumption characteristics and distribution of nitrogen in wheat[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2010, 30(8): 1955–1965.(in Chinese)
- [17] 吕丽华, 董志强, 张经廷, 等. 水氮对冬小麦-夏玉米产量及氮利用效应研究[J]. *中国农业科学*, 2014, 47(19): 3839–3849. LÜ Li-hua, DONG Zhi-qiang, ZHANG Jing-ting, et al. Effect of water and nitrogen on yield and nitrogen utilization of winter wheat and summer maize[J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 2014, 47(19): 3839–3849.(in Chinese)
- [18] Liu X J, Ju X T, Zhang F S, et al. Nitrogen dynamics and budgets in a winter wheat-maize cropping system in the North China plain[J]. *Field Crops Research*, 2003, 83: 111–124.
- [19] Malhi S S, Brandt S A, Ulrich D, et al. Accumulation in the soli profile under various alternative cropping system[J]. *Journal of Plant Nutrition*, 2002, 25: 2499–2520.
- [20] 葛 宇, 何新林, 王振华, 等. 滴灌灌水量对复播油葵耗水特性和产量的影响[J]. *灌溉排水学报*, 2012, 31(3): 111–113. GE Yu, HE Xin-lin, WANG Zhen-hua, et al. Influence of irrigation on water consumption character and yield of multiple seeding sunflower[J]. *Journal of Irrigation and Drainage*, 2012, 31(3): 111–113.(in Chinese)
- [21] 李建明, 潘铜华, 王玲慧, 等. 水肥耦合对番茄光合、产量及水分利用效率的影响[J]. *农业工程学报*, 2014, 30(10): 82–90. LI Jian-ming, PAN Tong-hua, WANG Ling-hui, et al. Effects of water-fertilizer coupling on tomato photosynthesis, yield and water use efficiency[J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2014, 30(10): 82–90.(in Chinese)