文章编号:1000-7601(2015)05-0034-07 **doi**:10.7606/j.issn.1000-7601.2015.05.07

不同水分处理对胡麻干物质积累与分配及水分利用效率的影响

崔红艳[1,2],胡发龙[1,2],方子森[1,2],牛俊义[1,2],
王华丽[1,2],许维成[3]

(1.甘肃农业大学农学院,甘肃 兰州 730070;2.甘肃省干旱生境作物学重点实验室,甘肃 兰州 730070;
3.甘肃省榆中县良种繁育场,甘肃 榆中 730100)

摘　要:在大田试验条件下,以陇亚杂 1 号为材料,设置不灌水(CK)、分茎水 80 mm(T1)、分茎水 60 mm + 盛花水 40 mm(T2)、分茎水 80 mm + 盛花水 40 mm(T3)、分茎水 60 mm + 现蕾水 40 mm + 盛花水 40 mm(T4)5 个处理,研究了不同水分处理对胡麻干物质积累与分配、籽粒产量及其水分利用效率的影响。结果表明:与 CK 相比,灌水处理显著提高开花后干物质的积累量和开花后干物质积累量对籽粒的贡献率,以 T2 处理最高,分别增加了 91.37%、45.09%;灌水量过多显著减少光合产量向籽粒的分配,使籽粒产量降低;随灌水量增加,胡麻全生育期耗水量显著增大,籽粒产量先升高后降低,灌水利用效率显著降低;T2 处理的产量和水分利用效率显著高于其他处理,分别比 CK 增加了 40.72%、11.71%。综合考虑胡麻的籽粒产量和水分利用效率,T2 处理为本试验条件下高产节水的最佳灌水处理。

关键词:灌水;胡麻;干物质积累与分配;水分利用效率;产量

中图分类号:S563.2　　**文献标志码**:A

Effects of irrigations on dry matter accumulation, distribution, grain yield and water use efficiency in oil flax

CUI Hong-yan[1,2], HU Fa-long[1,2], FANG Zi-sen[1,2], NIU Jun-yi[1,2], Wang Hua-li[1,2], XU Wei-cheng[3]

(1. *College of Agronomy*, *Gansu Agricultural University*, *Lanzhou*, *Gansu* 730070, *China*;
2. *Gansu Province Key Laboratory of Arid land Crop Science*, *Lanzhou*, *Gansu* 730070, *China*;
3. *Seed Multiplication Farm in Yuzhong County of Gansu Province*, *Yuzhong*, *Gansu* 730100, *China*)

Abstract: A field experiment was conducted in Yuzhong Gansu to elucidate the effects of irrigation amounts and timing on the water consumption characteristics, grain yield, and water use efficiency of oil flax cultivar Longyaza 1. Five treatments were employed in the experiment including no irrigation during the whole growth season (represented as CK), irrigation amount of 80 mm at stem stage (T1), irrigating at stem and full flowering stages with amounts of 60 mm and 40 mm (T2), 80 mm and 40 mm (T3), respectively, and irrigating at stem, squaring and full flowering stages with amounts of 60 mm, 40 mm and 40 mm (T4), respectively. The results showed that dry matter accumulation amount after anthesis and contribution of dry matter accumulation amount after anthesis to grains in irrigation treatments were significantly increased by 91.37% and 45.09%, respectively, in T2. However, over-irrigation significantly reduced the photosynthate and grain yield. Water consumption amount was increased, but grain yield was increased first and then became decreased, and irrigation water use efficiency was decreased significantly. The yield and water use efficiency with T2 treatment were significantly higher than that with other treatments. compared with the CK treatment, it was increased by 40.72% and 11.71%, respectively. In considerations of grain yield, and WUE of irrigation involved in the experiment, the most appropriate irrigation treatment recommended was T2 for water-saving and high-yield, which was to irrigate 60 mm at stem stage and 40 mm at full flowering stage, respectively.

收稿日期:2014-09-12
基金项目:现代农业产业技术体系建设专项资金(CARS-17-GW-9)
作者简介:崔红艳(1989—),女,甘肃天水人,硕士研究生,研究方向为作物栽培学与耕作学。E-mail:cuihongyan1989@163.com。
通信作者:方子森,男,甘肃兰州人,教授,主要从事大田作物和中草药栽培教学及科研工作。E-mail:fangzs@gsau.edu.cn。

Keywords: irrigation; oil flax; dry matter accumulation and distribution; water use efficiency ;grain yield

在我国北方干旱和半干旱地区,水资源短缺已成为限制农业可持续发展的瓶颈。高效利用水资源,发展节水农业,建立高效节水灌溉制度是这些地区摆脱水资源危机的必然选择[1-2]。在影响作物生产力的诸多因子中,水分不足造成的危害超过了其它一切逆境因子的总和[3-4]。干物质是作物光合作用的最终产物,它在作物不同器官的积累和分配,直接影响作物的经济产量和水分利用效率,而干物质的积累与分配又直接受水分条件的影响[5]。有研究表明,适度的限量灌溉可以降低麦田耗水量,提高水分利用效率,并且有利于干物质的积累,促进籽粒灌浆,提高小麦籽粒产量[6-8]。王培武等[9]研究认为,不同灌水量会对大豆的干物质生产总量及根、茎、叶、荚各部分的干物质生产造成影响,缺水会使大豆根部的干物质分配率增加。灌水时期也直接影响到水分利用效率,不同生育阶段缺水对作物产量的影响不同,需水关键期水分亏缺可能导致较大的减产[10-12]。关于不同水分处理对作物干物质积累与分配、产量及水分利用效率的影响在小麦、大豆、玉米、马铃薯等作物上已有研究[6,9,13-14],而在胡麻方面的研究较少。

胡麻具有较强的耐旱、耐寒和耐瘠薄能力,生育期短,适应性广,是黄土高原丘陵沟壑区主要的经济作物之一。该区地处我国干旱和半干旱区,水资源随年季变化较大,7—9 月的降雨量占全年总降雨量的 55%[15],降雨对水分的供应与作物对水分的需求不协调,春旱和伏旱时常发生,致使产量低而不稳。节水农业要解决的关键问题是提高自然降水和灌溉水的利用效率[16],在有限的农业水资源条件下,如何通过土壤水分调控提高作物灌水效率,仍是目前节水农业领域研究的热点之一。本试验研究了不同的水分处理对胡麻干物质积累与分配及水分利用效率的影响,旨在为制定胡麻的高产节水栽培技术提供理论依据。

1　材料与方法

1.1　试验区概况

试验于 2013 年 3—8 月在甘肃省兰州市榆中县(E:92°13′ ~ 108°46′,N:32°11′ ~ 42°57′)良种繁育场进行。试验区地处黄土高原丘陵沟壑区,海拔高度 1 875.4 m,年平均气温 6.7℃,年日照时数 2 563 h,无霜期 146 d,年降雨量 381.6 mm,年蒸发量 1 341 mm。

胡麻播种前试验田 0 ~ 20 cm 土层土壤养分含量为:有机质 16.41 $g\cdot kg^{-1}$,全氮 1.14 $g\cdot kg^{-1}$,全磷 0.83 $g\cdot kg^{-1}$,全钾 20.15 $g\cdot kg^{-1}$,碱解氮 59.23 $mg\cdot kg^{-1}$,速效磷 13.13 $mg\cdot kg^{-1}$,速效钾 125.37 $mg\cdot kg^{-1}$,pH 值 7.61。试验地播种前 0 ~ 20、20 ~ 40、40 ~ 60、60 ~ 80、80 ~ 100、100 ~ 120、120 ~ 140、140 ~ 160、160 ~ 180 cm 土层的土壤含水量分别为 10.89%、13. 59%、15. 93%、17. 18%、18. 89%、20.00%、21.46%、21.11%、20.49%。胡麻生育期间降雨量为播种至分茎期 8.8 mm、分茎至现蕾期 71.9 mm、现蕾至盛花期 35.2 mm、盛花至成熟期 116.1 mm。

1.2　试验设计

采用单因素随机区组设计方法。试验设置 2 个浇水时期,分别为分茎期 + 盛花期,分茎期 + 现蕾期 + 盛花期;分茎期设 60 mm、80 mm 2 个灌水量处理,现蕾期和盛花期均灌水 40 mm,由此构成 T1、T2、T3、T4 处理,以不灌水为对照(CK),共 5 个处理(表 1)。小区面积为 7 m × 4 m = 28 m^2,3 次重复。小区之间留 1.5 m 的隔离区。基肥用量为 N 90 $kg\cdot hm^{-2}$,P_2O_5 75 $kg\cdot hm^{-2}$,K_2O 53 $kg\cdot hm^{-2}$。所施肥料为尿素(含 N 46.4%)、磷酸二铵(含 P_2O_5 46%,N 18%)、硫酸钾(含 K_2O 52%)。供试胡麻品种为陇亚杂 1 号,3 月 18 日播种,播种密度为 750 万株·hm^{-2},人工条播,播深 3 cm,行距 20 cm。灌水量用水表计量,其它管理方式同一般大田。

表 1　水分处理方案/mm

Table 1　The irrigation program of water treatments

处理 Treatment	灌水时期 Irrigation stage			灌水总量 Total irrigation amount
	分茎期 Stem stage	现蕾期 Budding stage	盛花期 Anthesis stage	
CK	0	0	0	0
T1	80	0	0	80
T2	60	0	40	100
T3	80	0	40	120
T4	60	40	40	140

1.3　测定项目与方法

1.3.1　叶面积　分别于胡麻主要生育时期选取叶龄标记,采用 WDY - 500A 型光电叶面积测量仪测定。

1.3.2　土壤含水量　于胡麻主要生育时期用土钻随机取不同处理各小区 0 ~ 200 cm 土层的土,20 cm 为 1 层,称土壤鲜重后,在 105℃恒温下烘 8 h 至恒

重,称土壤干重,计算土壤含水量,其公式:土壤含水量=(土壤鲜重-土壤干重)/土壤干重×100%。根据土壤含水量计算土壤贮水量[17]。土壤贮水量:$Sw = d \times r \times w \times 0.1$,式中,$Sw$ 为土壤贮水量(mm),d 为土层厚度(cm),r 为土壤容重($g \cdot cm^{-3}$),w 为土壤含水量(%)。

1.3.3 耗水量 采用农田水分平衡法[18]计算作物耗水量(mm):$ETa = P + I - \triangle W$,式中:$ETa$ 为作物生育期耗水量(mm),包括植物蒸腾量与棵间蒸发量;P 为降雨量(mm);I 为灌溉量(mm);$\triangle W$ 为作物不同生育时期之间的土壤贮水变化量,即土壤贮水消耗量。

1.3.4 水分利用效率 产量水分利用效率($kg \cdot hm^{-2} \cdot mm^{-1}$)=籽粒产量($kg \cdot hm^{-2}$)/作物全生育期耗水量(mm);灌水利用效率($kg \cdot hm^{-2} \cdot mm^{-1}$)=籽粒产量($kg \cdot hm^{-2}$)/灌水量(mm)[19]。

1.3.5 干物质测定和计产 于上述胡麻各生育时期每个小区选取具有代表性且长势基本一致的植株 20 株,带回实验室。前 3 个生育时期留取整株样品,开花期和成熟期将植株分为籽粒、叶片、主茎+分枝+果壳 3 部分,于 105℃恒温箱中杀青 30 min,而后将温度降至 80℃烘干 6~8 h 至恒重,测定干重。收获时按小区单打单收,晒干后称取胡麻籽粒重量,测得小区实际产量。计算公式如下[20]:

营养器官花前贮藏同化物运转量=开花期干重-成熟期干重

营养器官花前贮藏同化物运转率=(开花期干重-成熟期干重)/开花期干重×100%

花后同化物输入籽粒量=成熟期籽粒干重-营养器官花前贮藏物质运转量

对籽粒产量的贡献率=花前贮藏物质运转量(或花后同化物量)/成熟期籽粒干重×100%

1.4 数据分析

采用 Microsoft Excel 2003 和 SPSS 17.0 统计软件进行数据处理和差异显著性分析。

2 结果与分析

2.1 不同水分处理对胡麻植株形态指标的影响

由图 1 可知,在不同水分处理下,胡麻全生育期内的株高在分茎期后迅速增大,盛花期达到最大;单株叶面积随植株生长呈先升后降的单峰曲线变化趋势,且各处理绿叶面积在现蕾期达到最大,随后植株底部的叶片逐渐枯黄,绿叶面积开始减少。生育期灌水最多的 T4 处理在盛花期和现蕾期有最大的株高和叶面积,而其他处理由于不同程度缺水,株高增长受到一定抑制,增长均低于 T4 处理,其中 CK 的株高最低。不同水分处理对胡麻生育前期单株叶面积的影响比较显著,增加灌水可明显增加植株的叶面积,T4 处理的单株叶面积最大,特别是在现蕾期开始这种差别更为明显,而至盛花期,叶面积开始减小,T1、T2、T3 和 T4 处理的单株叶面积分别下降了 7.44%、6.51%、11.29%、15.00%。

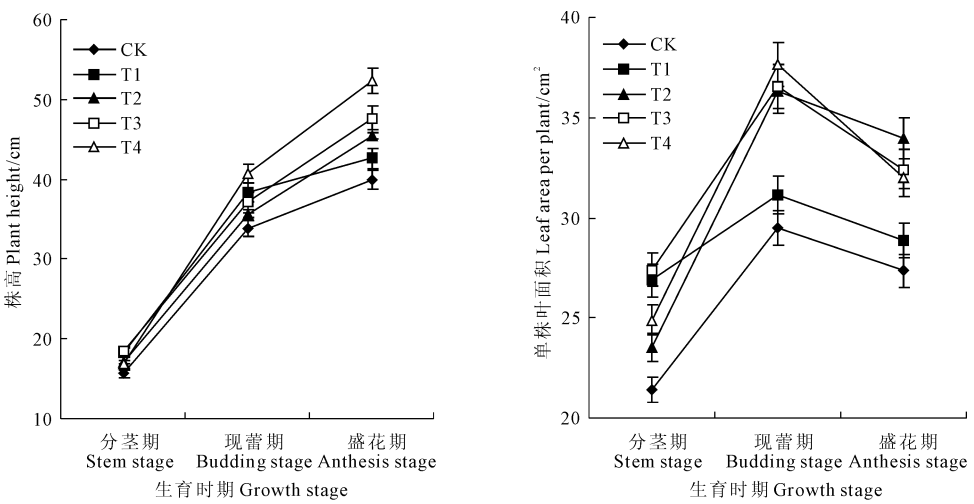

图 1 不同水分处理对胡麻株高和叶面积的影响

Fig.1 Plant height and leaf area per plant at main stages of oil plant under different treatments

2.2 不同水分处理对胡麻植株地上部干物质积累的影响

由表 2 可见,胡麻植株地上部干物质日增量因不同水分处理而异。分茎期植株地上部干物质日积累量从高到低依次排序为 T3>T1>T2>T4>CK,各处理地上部干物质日增量分别比 CK 显著提高了 63.41%、61.86%、43.46%、43.24%($P<0.05$),T3 和 T1 处理的叶片和茎秆干物质日积累量均最大,与

CK 相比,叶片干物质日积累量分别显著增加了 88.13%、85.63%,而茎秆干物质日积累量也分别增加了 49.83%、48.80%,差异显著。现蕾期 T4、T1、T3 和 T2 处理地上部干物质日增量分别比 CK 显著增加了 10.71%、8.02%、7.67%、5.62%,各灌水处理叶片、茎秆和花果干物质日增量显著高于 CK。盛花期叶片干物质积累量出现了负增长,茎秆干物质日积累量以 T2、T3 处理最大,分别比 CK 显著增加了 42.84%、34.83%,处理之间差异不显著($P > 0.05$),而花果和地上部干物质日积累量均以 T2 处理最大,分别比 CK 显著增加了 6.62%、42.47%。成熟期叶片干物质日增量继续呈负增长趋势,T2 处理的茎秆、花果和地上部干物质日积累量最大,分别比 CK 增加了 72.41%、27.90%、41.77%,差异显著。

表 2　不同水分处理胡麻植株地上部干物质日积累量的动态变化/(mg·株$^{-1}$·d^{-1})

Table 2　Dynamics of daily dry matter accumulations in the aboveground tissues of oil flax plant under different soil moisture conditions

生育时期 Growth stage	处理 Treatment	叶片 Leaf	茎秆 Straw	花果 Flower and fruit	地上部分 Over ground
分茎期 Stem stage	CK	1.60 d	2.91 c		4.51 c
	T1	2.97 ab	4.33 a		7.30 a
	T2	2.86 bc	3.61 b		6.47 b
	T3	3.01 a	4.36 a		7.37 a
	T4	2.82 b	3.64 b		6.46 b
现蕾期 Budding stage	CK	7.67 d	8.95 d	0.47 d	17.09 d
	T1	8.02 b	9.83 b	0.61 b	18.46 b
	T2	7.89 c	9.64 c	0.55 c	18.08 c
	T3	7.97 b	9.79 b	0.64 b	18.40 b
	T4	8.11 a	10.08 a	0.73 a	18.92 a
盛花期 Anthesis stage	CK	-2.07 e	14.73 d	4.08 d	16.74 d
	T1	-1.86 d	17.21 c	4.20 c	19.54 c
	T2	-1.54 a	21.04 a	4.35 a	23.85 a
	T3	-1.58 b	19.86 ab	4.29 b	22.57 b
	T4	-1.65 c	19.25 b	4.25 b	21.85 b
成熟期 Ripping stage	CK	-3.11 e	8.12 d	30.11 d	35.12 d
	T1	-3.04 d	11.25 c	34.05 b	42.27 c
	T2	-2.71 a	14.00 a	38.51 a	49.79 a
	T3	-2.82 b	12.68 b	35.11 b	44.98 b
	T4	-2.89 c	12.94 b	32.67 c	42.72 c

注:同一列数字无相同字母间差异达 5%的显著水平,下同。

Note: Values without the same letters in the same column were at significance level of 5% level, and hereinafter.

2.3　不同水分处理对胡麻植株地上部干物质分配的影响

2.3.1　不同水分处理对胡麻植株地上部干物质分配比率的影响　如图 2 可示,胡麻分茎期叶片干物质积累量占地上部总干物重的 52.77% ~ 53.16%,随着生育进程延续叶片干物质分配率有所下降,茎秆分配率逐渐增加,至盛花期达到最大值,此后,茎秆干物质分配率大幅度下降,而花果干物质积累量逐渐增加。在分茎期各灌水处理的叶片干物质分配率比 CK 增加了 41.36% ~ 50.62%,茎秆干物质增加了 28.28% ~ 48.28%。就现蕾期的干物质分配比率而言,T4 处理的叶片和茎秆干物质分配率均最大,分别比 CK 增加了 30.79% ~ 63.46%、15.20% ~ 44.12%。在盛花期胡麻植株的茎秆干物质分配率达到最大值,占地上部干物质积累总量的 48.94% ~ 50.05%,而花果干物质分配比率为 1.23% ~ 1.52%,T2 处理的花果干物质分配率最大。在成熟期,各灌水处理花果干物质分配率从高到低为:T2 > T3 > T4 > T1 > CK,不同灌水处理比 CK 提高了 14.84% ~ 60.75%。

2.3.2　不同水分处理对胡麻开花后营养器官干物质再分配及其籽粒贡献率的影响　由表 3 可知,不同水分处理中,营养器官开花前贮藏同化物向籽粒的转运量从高到低依次为:T4 > CK > T1 > T3 > T2,处理之间呈显著差异水平($P < 0.05$)。CK 和 T4 处理的营养器官开花前贮藏同化物向籽粒的转运率显

著高于其他处理,但处理之间无显著差异($P>0.05$)。开花前贮藏同化物转运量对籽粒贡献率表现为 CK 的最高,T1 处理次之,T2 最低。就开花后干物质积累量和同化量对籽粒的贡献率而言,T2 处理最高,分别比 CK 显著增加了 91.37%、45.09%($P<0.05$)。由此可知,与其他灌水处理相比,T2 处理能显著提高花后干物质积累能力,增加花后干物质在籽粒的比例,为籽粒形成中同化物的积累奠定了良好的生理基础。

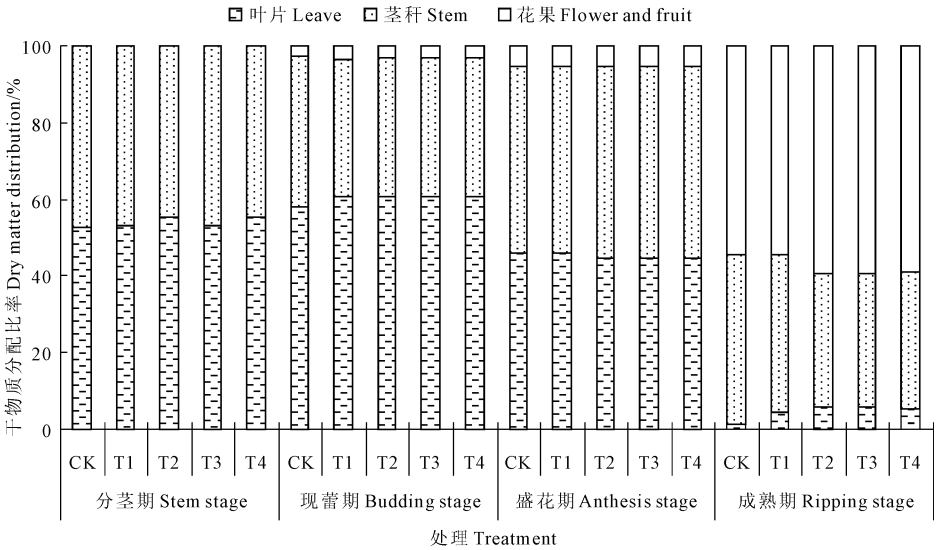

图 2 不同水分处理下胡麻植株地上部干物质分配比率

Fig.2 Dry matter distribution ratio of oil flax under different soil moisture condition

表 3 不同处理对开花后营养器官干物质再分配量和开花后积累量的影响

Table 3 Effects of different treatments on dry matter accumulation amounts after anthesis and dry matter transicoation amounts from vegetative organ to grain

处理 Treatment	营养器官开花前贮藏同化物转运量 DMTAA/(kg·hm^{-2})	营养器官开花前贮藏同化物转运率 DMTRA/%	开花前贮藏同化物转运量对籽粒贡献率 CDMTAATG/%	开花后干物质积累量 DMAAA/(kg·hm^{-2})	开花后干物质同化量对籽粒的贡献率 CDMAAATG/%
CK	469.17 b	25.51 a	50.13 a	482.31 e	49.08 e
T1	460.27 c	23.55 b	44.53 b	573.33 d	55.47 d
T2	304.00 e	14.66 d	23.09 e	1012.80 a	76.91 a
T3	389.82 d	19.64 c	30.00 d	909.38 b	70.00 b
T4	487.47 a	25.04 a	38.81 c	768.53 c	61.19 c

注(Note):DMTAA: Dry matter translocation amount after anthesis; DMTRA: Dry matter translocation ratio after anthesis; CDMTAATG: Contribution of dry matter translocation amount after anthesis to grains; DMAAA: Dry matter accumulation amount after anthesis; CDMAAATG: Contribution of dry matter assimilation amount after anthesis to grains.

2.4 不同处理对胡麻产量及水分利用效率的影响

由表 4 可知,随着灌水量的增加,胡麻收获后土壤贮水量和生育期间的耗水量均显著增加($P<0.05$)。就籽粒产量而言,随着灌水量的增加先升高后降低,T2 处理的最高,显著高于 T4 处理 21.83%,而比 CK 显著增加 40.72%,T1 与 T4 处理之间差异不显著($P>0.05$),说明灌水量最多的 T4 处理不利于籽粒产量的形成,灌水量少的处理也是如此,可见,T2 处理的灌水组合更利于籽粒产量的提高。不同处理间产量水分利用效率表现为 T2 > T3 > CK > T4 > T1,T2、T3 处理的产量水分利用效率分别比 CK 增加 11.71%、2.56%,T2 处理与 CK 之间差异显著。灌水利用效率的变化趋势表现为随灌水量的增加而显著降低,T1、T2 处理的最高,但处理间无显著差异。说明在本试验条件下,T2 处理是兼顾高产和节水的最佳灌溉方式。

3 讨论与结论

作物生长发育与土壤水分状况密切相关,当土壤水分出现严重亏缺时,会抑制作物地上部器官生长,降低作物生物量和产量[21-22]。本研究不同水分处理对胡麻叶面积的影响明显,特别是 T4 处理前

表 4　不同水分处理对胡麻产量和水分利用效率的影响

Table 4　Effects of different soil moisture conditions on yields and water use efficiencies of oil flax

处理 Treatment	土壤贮水量/mm Soil water storage		耗水量 Water consumption /mm	籽粒产量 Grain yield /(kg·hm^{-2})	水分利用效率 Water use efficiency /(kg·hm^{-2}·mm^{-1})	灌水利用效率 Irrigation water use efficiency /(kg·hm^{-2}·mm^{-1})
	播种前 Pre-planting	收获后 Post-harvest				
CK	318.25 a	228.03 d	322.21 e	1843.33 d	5.72 b	—
T1	317.49 a	230.61 d	396.88 d	2090.12 c	5.24 c	26.13 a
T2	316.70 a	243.09 c	406.12 c	2594.00 a	6.39 a	25.94 a
T3	317.59 a	250.49 b	419.10 b	2460.00 b	5.87 b	20.50 b
T4	318.12 a	267.66 a	429.46 a	2129.28 c	5.28 c	15.92 c

期叶面积较大,至盛花期 T2 处理位居首位。这表明灌水次数和灌水量过多会使胡麻前期生长过旺,群体过密,导致下部叶片受光不足而提前衰老。以往研究证实,适度的限量灌溉有利于小麦干物质的积累,促进籽粒灌浆、提高小麦籽粒产量[7,23]。本试验表明,灌水有效地促进了胡麻植株地上部干物质的积累,现蕾期以 T4 处理的地上部干物质日增量最大。盛花期和成熟期叶片干物质日增量出现负增长,地上部干物质日增量以 T2 处理最大,分别较对照显著增加了 42.47%、41.77%。可见,适当增加灌水次数和灌水量可延长叶片的功能时期,促进植株平稳生长,有利于干物质的积累。

研究表明,土壤水分状况对小麦干物质积累与分配有显著影响[24-25],在一定范围内,随灌水量增大,小麦生物产量增加,显著提高开花后干物质的积累量及其对籽粒的贡献率,而灌水量过多显著减少干物质向籽粒的分配,籽粒产量降低[26]。本研究表明,随着胡麻生育进程推进,叶片干物质分配率有所下降,茎秆分配率逐渐增加,至盛花期达到最大值,占地上部干物质积累总量的 48.94% ~ 50.05%,成熟期各水分处理的花果干物质分配率比对照提高了 14.84% ~ 60.75%。T2 处理的开花后干物质积累量和同化量对籽粒的贡献率最大,分别比对照显著增加了 91.37%、45.09%。由此可知,与其他灌水处理相比,T2 处理能显著提高花后干物质积累能力,促进籽粒的发育和灌浆,是获得高产的生理基础。

节水农业要解决的关键问题是提高自然降水和灌溉水的利用效率[27],作物充分利用环境水和最大限度地节约本身用水是实现作物高效用水的基本途径[28]。张忠学等[27]认为,随着灌水次数的增加,灌水量的增多,灌溉水的利用效率逐渐减小。适度水分亏缺有益于提高作物产量和水分利用率[29-31]。在本试验条件下,随着灌水量的增加,耗水量显著增加,籽粒产量先升高后降低,灌水利用效率显著降低。T2 处理的产量和水分利用效率均最高,比对照显著增加 40.72%、11.71%。综上所述,T2 处理能够促进胡麻植株地上部干物质的积累,提高成熟期籽粒的干物质分配比率和花后干物质同化量对籽粒的贡献率,有利于花后同化物向籽粒的分配,这为其获得高产和高水分利用效率奠定了基础。

参 考 文 献:

[1] 张艳敏,李晋生,钱维朴,等.小麦冠层结构与光分布研究[J].华北农学报,1996,11(1):54-58.

[2] 王会肖,刘昌明.作物光合、蒸腾与水分高效利用的试验研究[J].应用生态学报,2003,14(10):1632-1636.

[3] Saini H S, Westgate M E. Reproductive development in grain crops during drought[J]. Advances in Agronomy, 2000,68:59-66.

[4] 卜庆雁,周晏起.果树抗旱性研究进展[J].北方果树,2001,(6):1-3.

[5] Van den Boogaard R, Alewijnse D, Venklaas E J, et al. Growth and water-use efficiency of 10 Triticum aestivum cultivars at different water availability in relation to allocation of biomass[J]. Plant Cell and Environment, 1997,(20):200-210.

[6] 许振柱,于振文.限量灌溉对冬小麦水分利用的影响[J].干旱地区农业研究,2003,21(1):6-10.

[7] Zhang B C, Li F M, Huang G B, et al. Yield performance of spring wheat improved by regulated deficit irrigation in an arid area[J]. Agric Water Manag, 2006,79:28-42.

[8] 任　巍,姚克敏,于　强,等.水分调控对冬小麦同化物分配与水分利用效率的影响研究[J].中国生态农业学报,2003,11(4):92-94.

[9] 王培武,李治远,礒田昭弘,等.新疆大豆生产及生态的研究 I 开花期缺水和遮光处理对大豆干物质生产及株型的影响[J].作物学报,1995,21(2):396-403.

[10] 王淑芬,张喜英,裴　冬.不同供水条件对冬小麦根系分布、产量及水分利用效率的影响[J].农业工程学报,2006,22(2):27-32.

[11] Rao N, Sarma P, Chander Subhash. Irrigation scheduling under a limited water supply[J]. Agricultural Water Management, 1998,15(2):25-32.

[12] 程宪国,汪德水,张美荣,等.不同土壤水分条件对冬小麦生长及养分吸收的影响[J].中国农业科学,1996,29(4):67-74.

[13] 肖俊夫,刘战东,刘祖贵,等.不同灌水次数对夏玉米生长发育及水分利用效率的影响[J].河南农业科学,2011,40(2):36-40.
[14] 江俊燕,汪有科.不同灌水量和灌水周期对滴灌马铃薯生长及产量的影响[J].干旱地区农业研究,2008,26(2):121-125.
[15] 张 雷,李小燕,牛芬菊,等.旱地微垄地膜覆盖沟播栽培对土壤水分和胡麻产量的影响[J].作物杂志,2011,(4):95-97.
[16] 刘庚山,郭安红,安顺清,等.底墒对小麦根冠生长及土壤水分利用的影响[J].自然灾害学报,2003,12(3):149-154.
[17] 廖允成,韩思明,温晓霞.黄土台塬旱地小麦土壤水分特征及水分利用效率研究[J].中国生态农业学报,2002,10(3):55-58.
[18] 江晓东,李增嘉,侯连涛,等.少免耕对灌溉农田冬小麦/夏玉米作物水、肥利用的影响[J].农业工程学报,2005,21(7):20-24.
[19] 张永丽,于振文.灌水量对不同小麦品种籽粒品质、产量及土壤硝态氮含量的影响[J].水土保持学报,2007,21(5):155-158.
[20] 姜 东,谢祝捷,曹卫星,等.花后干旱和渍水对冬小麦光合特性和物质转运的影响[J].作物学报,2004,30(2):175-182.
[21] Wang T, Zhang X, Li C. Growth, abscisic acid content, and carbon isotope composition in wheat cultivars grown under different soil moisture[J]. Biologic Plantarum, 2007,51(1):181-184.
[22] 陈晓远,罗远培.土壤水分变动对冬小麦生长动态的影响[J].中国农业科学,2001,34(4):403-409.
[23] Kang S Z, Zhang L, Liang Y L, et al. Effects of limited irrigation on yield and water use efficiency of winter wheat in the Loess Plateau of China[J]. Agric Water Manag, 2002,55:203-216.
[24] 许振柱,李长荣,陈 平,等.土壤干旱对冬小麦生理特性和干物质积累的影响[J].干旱地区农业研究,2000,18(1):113-118.
[25] 房全孝,陈雨海,李全起,等.土壤水分对冬小麦生长后期光能利用及水分利用效率的影响[J].作物学报,2004,30(11):1113-1118.
[26] 张忠学,于贵瑞.不同灌水处理对冬小麦生长及水分利用效率的影响[J].灌溉排水学报,2003,22(2):1-4.
[27] 山 仑,徐 萌.节水农业及其生理生态基础[J].应用生态学报,1991,2(1):70-76.
[28] 高延军,张喜英,陈素英,等.冬小麦品种间水分利用效率的差异及其影响因子分析[J].灌溉排水学报,2004,23(5):45-49.
[29] 李运生,王 菱,刘士平,等.土壤—根系界面水分调控措施对冬小麦根系和产量的影响[J].生态学报,2002,22(10):1680-1687.
[30] 张秋英,李发东,张依章,等.水分对冬小麦产量及水分利用效率的影响[J].西南农业大学学报(自然科学版),2005,27(6):809-812.
[31] 赵俊晔,于振文.高产条件下施氮量对冬小麦氮素吸收分配利用的影响[J].作物学报,2006,32(4):484-490.

(上接第23页)

[10] 江 龙.作物抗旱性的研究方法[J].贵州农业科学,1999,27(5):70-72.
[11] 郑桂萍,李金峰,钱永德,等.农作物综合抗旱性指标的评价分析[J].中国农学通报,2005,21(10):109-121.
[12] 王士强,胡银岗,佘奎军,等.小麦抗旱相关农艺性状和生理生化性状的灰色关联度分析[J].中国农业科学,2007,40(11):2452-2459.
[13] 易燕明.用灰色关联分析和主成分分析方法对旱灾等级进行综合评估[J].广东气象,1998,(增2):33-35.
[14] 孟庆立,关周博,冯佰利,等.谷子抗旱相关性状的主成分与模糊聚类分析[J].中国农业科学,2009,42(8):2667-2675.
[15] 李贵全,张海燕,季 兰,等.不同大豆品种抗旱性综合评价[J].应用生态学报,2006,17(12):2408-2412.
[16] 陈荣敏,杨学举,梁凤山,等.利用隶属函数法综合评价冬小麦的抗旱性[J].河北农业大学学报,2002,25(2):7-9.
[17] 王曙光,孙黛珍,周福平,等.六倍体小黑麦萌发期抗旱性分析[J].中国生态农业学报,2008,16(6):1403-1408.
[18] 李培英,孙宗玖,阿不来提.偃麦草种质资源抗旱性评价初步研究[J].中国草地学报,2008,30(3):59-64.
[19] 邱丽娟,常汝镇.大豆种质资源描述规范和数据标准[M].北京:中国农业出版社,2006.
[20] 兰巨生.农作物综合抗旱性评价方法的研究[J].西北农业学报,1998,7(3):85-87.
[21] 尹 利,逯晓萍,傅晓峰,等.高丹草杂交种灰色关联分析与评判[J].中国草地学报,2006,28(3):21-25.
[22] 唐启义,冯光明.实用统计分析及DPS数据处理系统[M].北京:科学出版社,2002.
[23] Nielsen D C, Nelson N O. Black bean sensitivity to water stress at various growth stages[J]. Crop Science, 1998,38:422-427.
[24] Sinclair T R, Bennett J M, Muchow R C. Relative sensitivity of grain yield and biomass accumulation to drought in field grown maize[J]. Crop Science, 1990,30:690-693.
[25] 张文英,智 慧,柳斌辉,等.谷子全生育期抗旱性鉴定及抗旱指标筛选[J].植物遗传资源学报,2010,11(5):560-565.
[26] 赵红梅,郭程瑾,段巍巍,等.小麦品种抗旱性评价指标研究[J].植物遗传资源学报,2007,8(1):76-81.
[27] 谢 皓,朱世明,包子敬,等.干旱胁迫下大豆品种抗旱性评价与筛选[J].北京农学院学报,2008,23(3):7-11.
[28] 汤复跃,梁 江,陈 渊,等.广西春大豆品种抗旱性评价及抗旱鉴定指标初步研究[J].南方农业学报,2011,42(1):50-53.
[29] 刘学义.大豆抗旱性评价方法与探讨[J].中国油料,1988,(4):12-14.
[30] 刘学义,张小虎.黄淮海地区大豆种质资源抗旱性鉴定及其研究[J].山西农业科学,1993,21(1):19-24.
[31] 许东河,李东艳,程舜华.大豆百粒重与抗旱性及产量的关系[J].中国油料,1991,(3):64-66.
[32] 汪 霞,徐 宇,李广军,等.大豆百粒重QTL定位[J].作物学报,2010,36(10):1674-1682.
[33] 张海燕,焦碧婵,李贵全.大豆抗旱性鉴定指标评价的研究[J].大豆科学,2005,24(3):183-188.
[34] 袁 野,邴 鑫,徐克章,等.大豆品种抗旱性早期鉴定方法[J].中国油料作物学报,2010,32(4):518-524.