

有限灌溉对燕麦产量和水分利用效率的影响

赵宝平¹, 庞云², 曾昭海¹, 胡跃高¹, 李桂荣¹, 刘瑞芳²

(1. 中国农业大学农学与生物技术学院草业工程研究中心, 北京 100094;

2. 内蒙古呼和浩特园艺科技试验中心, 内蒙古呼和浩特 010070)

摘要: 在防雨池栽培试验条件下, 研究了有限灌溉对两个燕麦品种产量品质和水分利用效率的影响。试验为裂区设计, 主区为 7 个灌溉处理, 副区为品种(内农大莜 1 号, 白燕 7 号)。研究结果表明: 水分过分亏缺或后期灌水过量均显著影响到燕麦干物质积累; 内农大莜 1 号的干草产量、籽粒产量以及粗蛋白产量均为 E 处理(底墒水+拔节水+抽穗水)最高, 而白燕 7 号的以上三种产量是以 F 处理最高; 两个品种均是 E 处理具有最高的水分利用效率(WUE), 过度干旱(处理 A)或后期灌水过多(处理 G)均显著影响燕麦土壤水分利用效率; 内农大莜 1 号具有更强的抗旱性, 而白燕 7 号则对水分更为敏感。

关键词: 有限灌溉; 燕麦; 产量品质; 水分利用效率

中图分类号: S512.6 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-7601(2007)01-0105-04

随着干旱频繁发生, 经济发展和人口增长, 农业水资源缺乏日益尖锐化。在我国北方干旱和半干旱地区, 水是限制农业生产和整个国民经济发展的第一限制因素^[1]。高效利用水资源, 发展节水农业是农业摆脱水资源危机的基本战略选择^[2]。燕麦具有抗旱、耐寒、耐瘠薄、适应性强等特点, 是我国北方高寒地区主要粮饲兼用作物。燕麦籽粒中含有丰富的蛋白质、脂肪、粗纤维、亚油酸和葡聚糖等高营养价值物质, 为我国北方地区人们喜爱的特色作物; 燕麦秸秆也是草食家畜的良好饲草^[3,4]。国内外关于燕麦水分利用的研究认为燕麦是需水较多的作物, 其生育期耗水量大于小麦、大麦^[5], 水分利用效率较低^[6~8]。国内有关其它作物水分利用方面的研究较多^[9~12], 但在有限灌溉条件下燕麦水分高效利用及其对产量品质的影响方面报道较少。本研究针对燕麦水分利用效率及耗水规律进行了研究, 以期为我国北方地区燕麦高效节水栽培提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 供试材料与试验设计

试验于 2005 年 5~8 月在内蒙古呼和浩特市园艺科技中心试验地进行。试验地处东经 110°, 北纬 45.5°, 海拔 1 063 m, 属典型大陆性气候, 年平均降水量 400 mm, 无霜期 120 d 左右, 土壤属暗栗钙土,

沙壤质, 肥力中等, 土壤 pH 值在 7.5 左右。

试验选用内蒙古农业大学培育的“内农大莜 1 号”裸燕麦品种, 白城农科院引进加拿大种质资源育成的“白燕 7 号”皮燕麦品种。试验采用防雨池栽培, 栽培池面积为 2 m×2 m, 两侧以塑料布做 2 m 深的防护层, 下不封底。

试验采用裂区设计, 灌水处理为主区, 品种为副区, 重复三次。试验设 7 个灌溉处理(表 1), 占地面积为 160 m²。试验用水表记录灌溉量。播种量为 120 kg/hm²。每小区 8 行, 行距 25 cm, 播前施入基肥纯 N 100 kg/hm², P₂O₅ 100 kg/hm²。

1.2 测定项目与方法

1.2.1 土壤耗水量的测定 分别在燕麦播前和收获后用土钻法取土样, 105℃ 下烘干至恒重, 测定 0~200 cm 土层土壤含水量(%)。分层测定 0~200 cm 土层的土壤容重后, 换算成土壤储水量(mm)。

各处理的耗水量为: 耗水量=(播前土壤贮水量-收获后土壤水分遗留量)+全生育期灌水量。

1.2.2 燕麦产量的测定 收获时进行产草量和籽粒产量测定。

1.2.3 粗蛋白质含量的测定 凯氏定氮仪在燕麦乳熟期测定其全株样品的氮含量及粗蛋白含量。

1.2.4 数据分析方法 采用 SAS 分析软件进行方差分析, 其它分析使用 Excel 软件完成。

收稿日期: 2006-03-09

基金项目: 农业部 948“燕麦优质品种引进培育及综合利用技术研究”(2005-Q2)

作者简介: 赵宝平(1982-), 男(蒙古族), 内蒙古察右后旗人, 硕士研究生, 研究方向为作物节水生理生态。

通讯作者: 胡跃高, E-mail: huyuegao@cau.edu.cn

表 1 防雨池栽培试验处理灌水量(mm)

Table 1 Irrigation amount of experimental treatments in precipitation-proof through

| 处理(次数) Treatments (times) | 灌水时期 Irrigation stage | | | | | 总量 Total |
|---------------------------------|-----------------------|----------------|-----------------|----------------|----------------|-------------|
| | 底水 Before sowing | 出苗水 Seeding | 拔节水 Jointing | 抽穗水 Heading | 灌浆水 Filling | |
| A(1) | 60 | 0 | 0 | 0 | 0 | 60 |
| B(2) | 60 | 60 | 0 | 0 | 0 | 120 |
| C(2) | 60 | 0 | 60 | 0 | 0 | 120 |
| D(3) | 60 | 60 | 60 | 0 | 0 | 180 |
| E(3) | 60 | 0 | 60 | 60 | 0 | 180 |
| F(4) | 60 | 60 | 60 | 60 | 0 | 240 |
| G(5) | 60 | 60 | 60 | 60 | 60 | 300 |

2 结果与分析

2.1 不同灌水处理对燕麦籽粒产量及其构成因素的影响

不同灌水处理下,内农大莪 1 号籽粒产量最高的是处理 E,其它处理由高到低依次是:处理 F、处理 D、处理 C、处理 B、处理 G、处理 A,处理 A、处理 G 与处理 E 相比,籽粒产量分别降低了 54.46%和 40.08%,与其它处理均形成显著差异;白燕 7 号籽粒产量最高的是处理 F,其它处理由高到低依次是:处理 D、处理 E、处理 G、处理 C、处理 B、处理 A,处

理 A、处理 B 与处理 F 相比,籽粒产量分别降低了 67.24%和 54.45%,与内农大莪 1 号不同的是,处理 D 的产量高于 E 处理,说明白燕 7 号在苗期需水量大于内农大莪 1 号,而且在整个生育期的耗水量也大于内农大莪 1 号,内农大莪 1 号的抗旱性较强(见表 2)。试验结果表明,处理 A 的产量构成三要素均受到严重影响,尤其是穗粒数减少显著,造成产量显著降低;主导籽粒产量较高处理的因素是穗粒数和公顷穗数,白燕 2 号 G 处理的千粒重显著低于其它处理,表明灌浆期间过多的灌水引起产量降低主要是千粒重减少的结果。

表 2 不同灌水处理下燕麦的籽粒产量及其构成因素

Table 2 Yield and its components of oats under different irrigation treatments

| 品种 Cultivates | 处理 Treatments | 穗数 Ears ($10^4/\text{hm}^2$) | 穗粒数 Kernels per ear | 千粒重(g) Weight per 1 000 kernels | 产量 Yield (kg/hm^2) |
|-----------------------------------|------------------|--------------------------------------|---------------------------|---------------------------------------|--|
| 内农大莪 1 号 Neinongdayou No. 1 | A | 255.00 ^D | 16.50 ^C | 20.8 ^C | 875.16 ^C |
| | B | 272.00 ^B | 21.50 ^{BC} | 23.3 ^A | 1362.58 ^E |
| | C | 277.60 ^A | 25.20 ^{AB} | 22.8 ^{AB} | 1594.98 ^D |
| | D | 242.00 ^E | 30.90 ^A | 22.3 ^{AB} | 1667.55 ^C |
| | E | 260.00 ^C | 33.00 ^A | 22.4 ^{AB} | 1921.92 ^A |
| | F | 258.80 ^C | 30.20 ^A | 23.0 ^{AB} | 1797.62 ^B |
| | G | 254.10 ^D | 20.60 ^{BC} | 22.0 ^B | 1151.58 ^F |
| 白燕 7 号 Baiyan No. 7 | A | 249.00 ^E | 13.15 ^D | 23.9 ^{CD} | 782.80 ^G |
| | B | 270.00 ^C | 15.15 ^{CD} | 26.60 ^A | 1088.35 ^F |
| | C | 258.80 ^D | 18.69 ^{BCD} | 23.90 ^C | 1156.18 ^E |
| | D | 282.00 ^B | 25.54 ^{AB} | 25.8 ^{AB} | 1858.08 ^B |
| | E | 284.70 ^B | 26.38 ^{AB} | 22.7 ^D | 1705.16 ^C |
| | F | 298.00 ^A | 32.46 ^A | 24.7 ^{BC} | 2389.36 ^A |
| | G | 281.20 ^B | 25.23 ^{ABC} | 20.2 ^E | 1433.17 ^D |

注:表中同列中不同大写字母数值间差异显著($P < 0.05$)。

Note: Different capital attaching to figures on the same column means significant differences at the 0.05 probability level.

2.2 不同灌水处理对燕麦植株鲜干草产量、蛋白质含量及其产量的影响

内农大莪 1 号不同处理间鲜草产量差异显著,

白燕 7 号鲜草产量在处理 B 和 C、处理 E 和 G 之间差异不显著,两品种鲜草最高的处理均是 D、F 处理,其次是 E 处理,鲜草产量最低的是 A 处理;两品

种不同处理间干草产量差异显著,内农大莜 1 号干草产量最大的处理为 E,为 8 930.44 kg/hm²,而白燕 7 号干草产量最大的处理为 F,达到 12 960.64 kg/hm²,而全生育期不灌水的处理 A 其干草产量最低。

内农大莜 1 号不同水分处理粗蛋白含量最高的为处理 F,与处理 A、E、G 差异显著,但与处理 B、C、D 差异不显著,而白燕 7 号粗蛋白含量最高的是处

理 B,与其它处理差异显著,但其它处理间差异不显著(表 3);从其产量来看,内农大莜 1 号的粗蛋白产量最高的是处理 E,其次是处理 F,最低的是处理 A,白燕 7 号粗蛋白产量最高的是处理 F,其次是 E,最低的是处理 A。表明过度干旱胁迫(A)或后期土壤水分过多(G)均不利于粗蛋白积累形成较高粗蛋白产量。

表 3 不同灌水处理下燕麦鲜干草产量、粗蛋白含量及其产量

Table 3 Yield of green forage and hay, content and yield of crude protein of oats at different irrigation treatments

| 品种 Cultivates | 处理 Treatments | 鲜草产量(kg/hm ²) Yield of green forage | 干草产量(kg/hm ²) Yield of hay | 粗蛋白含量(%) Crude protein content | 粗蛋白产量(kg/hm ²) Yield of crude protein |
|-----------------------------------|------------------|---|--|--------------------------------------|---|
| 内农大莜 1 号 Neinongdayou No. 1 | A | 14666.06 ^C | 5852.29 ^F | 10.87 ^{CD} | 636.26 ^C |
| | B | 17853.55 ^F | 7179.02 ^E | 11.33 ^{ABC} | 813.23 ^E |
| | C | 18995.61 ^D | 7289.70 ^D | 11.45 ^{AB} | 835.02 ^D |
| | D | 23695.18 ^A | 7623.71 ^C | 11.55 ^{AB} | 880.25 ^C |
| | E | 20252.34 ^C | 8930.44 ^A | 11.17 ^{BCD} | 997.71 ^A |
| | F | 22473.12 ^B | 7859.06 ^B | 11.82 ^A | 928.74 ^B |
| | G | 18368.91 ^E | 7303.03 ^D | 10.69 ^D | 780.97 ^F |
| 白燕 7 号 Baiyan No. 7 | A | 11717.91 ^E | 4395.55 ^G | 10.89 ^B | 478.80 ^G |
| | B | 17398.20 ^D | 5654.28 ^F | 11.57 ^A | 653.95 ^F |
| | C | 16081.46 ^D | 8236.31 ^E | 10.85 ^B | 893.51 ^E |
| | D | 29590.14 ^B | 9809.82 ^C | 10.60 ^B | 1039.98 ^C |
| | E | 23481.83 ^C | 11463.24 ^B | 10.75 ^B | 1232.04 ^B |
| | F | 33464.99 ^A | 12960.64 ^A | 10.64 ^B | 1379.53 ^A |
| | G | 22187.77 ^C | 9355.13 ^D | 10.65 ^B | 996.58 ^D |

注:1.表中同列中不同大写字母数值间差异显著($P < 0.05$);2.燕麦饲草产量及品质为乳熟期刈割测定值。

Note: 1. Different capital attaching to figures on the same column means significant differences at the 0.05 probability level; 2. The yield and its crude protein content were measured at milk stage.

2.3 不同灌水处理对燕麦水分利用效率(WUE)的影响

不同处理间耗水量比较来看,耗水量与灌水量之间不是正相关增长的,处理 B 虽然只在苗期灌水一次,但其耗水量却大于处理 D、E,表明限水灌溉可以提高播前土壤水分利用率;两个品种干草水分利用效率(GWUE)最高的均是处理 E,最低的则均是处理 A;两品种籽粒水分利用效率(SWUE)最高的也是处理 E,处理 D、F、C 也相对较高,而处理 A、G 则较低(表 4)。由此说明后期灌水过多或过度干旱均显著影响了燕麦对土壤水分的利用效率。

3 讨论

1) 在内蒙古呼和浩特自然地理条件下,利用防雨池进行燕麦有限灌溉试验得到如下结论:内农大莜 1 号的干草产量、籽粒产量以及粗蛋白产量均为 E 处理最高(与其它处理差异显著, $P > 0.05$),即在

拔节和抽穗期灌水两次再加上一次底墒水就可以获得较高的产量,而对于白燕 7 号来说,F 处理具有最高的鲜干草产量、籽粒产量以及粗蛋白产量,并均与其它处理间差异显著($P > 0.05$);两个品种均是 E 处理具有最高的水分利用效率(WUE),包括干草、籽粒水分利用效率(与其它处理差异显著, $P > 0.05$)。说明拔节期和抽穗期是燕麦需水关键期以及需水量最大的时期,过度干旱(处理 A)或后期灌水过多(处理 G)均不利于形成较多的生物产量、籽粒产量;也不利于氮素转移积累,形成较高粗蛋白产量;也显著影响了燕麦对土壤水分的利用。

2) 本研究针对燕麦生育期间耗水量大、水分利用效率较低的特点,采用了在小麦等作物已有研究的有限灌溉方式,研究对其产量、品质和水分利用效率的影响。任巍等研究了有限灌溉对冬小麦同化物分配和水分利用效率的影响^[9],许振柱,石岩等研究了冬小麦在有限灌溉下各器官干物质积累以及对

表 4 不同灌水处理下干草产量、籽粒产量以及粗蛋白产量水分利用效率 $[\text{kg}/(\text{mm}\cdot\text{hm}^2)]$

Table 4 Total consumption, water use efficiency of grass yield, seed and crude protein at different irrigation treatments

| 品种 Cultivates | 处理 Treatments | 总耗水量(mm) Total consumption | 草生物量水平 水分利用效率 Grass WUE | 籽粒产量水平 水分利用效率 Seed WUE |
|-----------------------------------|------------------|-------------------------------|-------------------------------|------------------------------|
| 内农大莪 1 号 Neinongdayou No. 1 | A | 328.73 ^E | 17.80 ^F | 2.66 ^F |
| | B | 380.47 ^C | 19.92 ^D | 3.58 ^D |
| | C | 289.18 ^C | 25.21 ^B | 5.52 ^A |
| | D | 317.92 ^F | 23.98 ^C | 5.25 ^B |
| | E | 348.06 ^D | 25.66 ^A | 5.52 ^A |
| | F | 407.18 ^A | 19.30 ^D | 4.41 ^C |
| | G | 384.81 ^B | 18.98 ^E | 2.99 ^E |
| 白燕 7 号 Baiyan No. 7 | A | 323.93 ^E | 13.57 ^F | 2.42 ^E |
| | B | 379.71 ^C | 14.89 ^E | 2.87 ^D |
| | C | 314.63 ^F | 19.82 ^D | 3.67 ^C |
| | D | 309.28 ^C | 31.72 ^B | 6.01 ^A |
| | E | 350.03 ^D | 32.75 ^A | 4.87 ^B |
| | F | 409.35 ^B | 31.66 ^B | 5.84 ^A |
| | G | 418.49 ^A | 22.35 ^C | 3.42 ^D |

注:表中同列中不同大写字母数值间差异显著($P < 0.05$)。

Note: Different capital attaching to figures on the same column means significant differences at a 0.05 probability level.

产量贡献和水分利用的影响^[10,13],张岁岐等研究了谷子和春小麦在有限供水条件下的耗水特性^[14]。本试验所得结果与前人试验结论基本一致,即在减少灌水量及灌溉次数条件下,产量没有明显降低,而作物的水分利用效率却显著地提高。再次证明了有限灌溉是北方干旱地区农业可持续发展的一条新思路。尤其对于内蒙古产区来说,燕麦生产主要以旱作为主,产量低且不稳定,因此引入有限灌溉对于当地燕麦高产稳产以及产业化发展具有重要的意义。

3) 本研究选用了两个不同类型的燕麦品种作比较,试图探求两类燕麦间耗水特性的一致性和差别,结果表明两类燕麦需水关键期和耗水量最大时期等表现基本一致,但在对水分敏感性、水分利用效率以及不同供水处理对粗蛋白含量的影响等方面有显著的差别:内农大莪 1 号具有更强的抗旱性,而白燕 7 号则对水分更为敏感,水分亏缺产量大幅下降,水分充足时产量大幅度提高。说明在干旱半干旱且年际降水变幅较大的地区,为追求稳产应选择内农大莪 1 号品种,而在降水条件较好或有灌溉条件的地区应选白燕 7 号品种。但由于两类燕麦各选择了一个品种,不能完全代表两类品种的特性,因此还需作更深入研究。本试验是在防雨池条件下进行的,但是在情况复杂、环境多变的田间条件下,如何结合

种植区的气候条件(温度,降雨)进行有限灌溉来实现燕麦节水高效栽培,切实提高其水分利用效率,还有待于进一步研究。

参 考 文 献:

- [1] 山 仑,康绍忠,吴普特.中国节水农业[M].北京:中国农业出版社,2004.
- [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] 焦瑞枣,张 胜,郑克宽.施氮量对裸燕麦“内农大莪 1 号”产量和品质的影响[J].内蒙古农业科技,2004,(1):6—8.
- [4] 任长忠,郭来春,邓路光,等.加拿大燕麦在吉林西部地区的作用浅析[J].吉林农业科学,2002,27(4):38—39.
- [5] 杨海鹏.中国燕麦[M].北京:农业出版社,1989.
- [6] Ehlers W. Transpiration Efficiency of Oat[J]. Agronomy Journal, 1989, 81: 810—817.
- [7] Pamela J de Rocquigny, Martin H Entz, Roberta M Gentile. Yield Physiology of a Semidwarf and Tall Oat Cultivar[J]. Crop Science, 2004, 44(6): 2116—2122.
- [8] Richards R A. The effect of dwarfing genes in spring wheat in dry environments. II. Growth, water use and water use efficiency [J]. Aust J Agric, 1992, 43: 529—539.
- [9] 任 巍,姚克敏,于 强.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.

(下转第 115 页)

formation stage>treated during tillering stage>treated during 1~10 days after heading>other treatments. The sequence of yield components affected by CWT was: panicle grains, filled grain rate, panicles per hill, 1 000—grain weight. Increase of branch number of different positions, grains and filled grain rate on secondary branch will be more beneficial to improve rice yield.

Keywords: soil moisture; rice; panicle traits; yield

(上接第 108 页)

- [10] 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.
- [11] 曹广才,王崇义,卢庆善.北方旱地主要作物栽培[M].北京:气象出版社,1992.221—256.
- [12] 彭世彰,朱成立.作物节水灌溉需水规律研究[J].节水灌溉,2003,2:5—8.
- [13] 石岩,林琪,位东斌.不同灌水处理冬小麦耗水规律与节水灌溉方案确立[J].干旱地区农业研究,1996,14(4):7—11.
- [14] 张岁岐,山仓.有限供水条件下谷子和春小麦的耗水特性[J].水土保持研究,1999,6(1):94—98.

Effect of limited irrigation on yield and water use efficiency of oats

ZHAO Bao-ping¹, PANG Yun², ZENG Zhao-hai¹, HU Yue-gao¹, LI Gui-rong¹, LIU Rui-fang²

(1. Forage Industry Engineering Research Center, College of Agronomy and Biotechnology, China Agricultural University, Beijing 100094, China; 2. Hohhot Horticulture Research Center, Inner Mongolia Hohhot 010070, China)

Abstract: This paper studied the effect of limited irrigation on yield, quality and water use efficiency of two oats under rainfall-proof-through in the center of horticulture research in Inner Mongolia Hohhot. Irrigation treatments were allocated as main plots within a split-plot design. Two oats varieties (Neinongdayou No. 1 and Baiyan No. 7) were allocated to sub-plots. The result showed that the dry matter accumulation amount decreased with severe deficiency (treatment A) or over-content (treatment G) of soil moisture although there was difference among different treatments. The highest yield of grass, seed and crude protein of Neinongdayou No. 1 was by treatment E, which irrigated in jointing stage and heading stage before sowing, but that of Baiyan No. 7 was by treatment F. Treatment E had the highest WUE in two cultivars, severe deficiency (treatment A) or over-content (treatment G) of soil moisture remarkably influenced effective use of soil water. Neinongdayou No. 1 had a strong drought resistance, and Baiyan No. 7 was sensitive to soil moisture.

Keywords: limited irrigation; oats; yield and quality; water use efficiency (WUE)