

# 施肥对旱地胡麻耗水特性和籽粒产量的影响

吴兵<sup>1,2</sup>, 高玉红<sup>2,3</sup>, 高珍妮<sup>2,4</sup>, 剡斌<sup>2,3</sup>, 张中凯<sup>2,3</sup>, 崔政军<sup>2,3</sup>, 牛俊义<sup>2,3</sup>

(1. 甘肃农业大学 生命科学技术学院, 兰州 730070; 2. 甘肃省干旱生境作物学重点实验室, 兰州 730070;

3. 甘肃农业大学 农学院, 兰州 730070; 4. 甘肃农业大学 信息科学技术学院, 兰州 730070)

**摘要:**为了合理调控胡麻生产过程中氮、磷配施水平,以“陇亚杂1号”为试验材料,研究了不同施肥处理对旱地胡麻耗水特性、籽粒产量和水分利用效率的影响。试验设2个施氮(纯N)水平:75 kg/hm<sup>2</sup>(N<sub>1</sub>),150 kg/hm<sup>2</sup>(N<sub>2</sub>);2个施磷(纯P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>)水平:75 kg/hm<sup>2</sup>(P<sub>1</sub>),150 kg/hm<sup>2</sup>(P<sub>2</sub>),共4个施肥处理(N<sub>1</sub>P<sub>1</sub>, N<sub>1</sub>P<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>P<sub>1</sub>和N<sub>2</sub>P<sub>2</sub>),以不施氮磷肥为对照(N<sub>0</sub>P<sub>0</sub>)。结果表明:2013年胡麻的农田耗水量随着施肥量的增加而增加,2014年随着施肥水平增加至N<sub>2</sub>P<sub>1</sub>时,耗水量达到高峰,较N<sub>2</sub>P<sub>2</sub>处理显著增加10.23%;与N<sub>0</sub>P<sub>0</sub>处理相比,各施肥处理100—200 cm土层的耗水量明显增加13.03~19.36 mm。在胡麻现蕾至盛花期,2013年各施肥处理在此阶段的耗水量随着施肥量的增加而增加,而2014年以N<sub>2</sub>P<sub>1</sub>处理的阶段耗水量最大,较N<sub>0</sub>P<sub>0</sub>, N<sub>2</sub>P<sub>2</sub>处理分别显著增加19.25%和17.87%,说明氮磷配施有利于促进胡麻根系对土壤水分的吸收,尤其是深层贮水的利用,以满足胡麻生育后期的水分需求。两个生长季,胡麻的籽粒产量均表现为N<sub>2</sub>P<sub>1</sub>>N<sub>2</sub>P<sub>2</sub>>N<sub>1</sub>P<sub>2</sub>>N<sub>1</sub>P<sub>1</sub>>N<sub>0</sub>P<sub>0</sub>,且N<sub>2</sub>P<sub>1</sub>的籽粒产量显著高于N<sub>0</sub>P<sub>0</sub>处理44.27%~56.55%。胡麻的水分利用效率与籽粒产量的变化趋势基本一致,各施肥处理中以N<sub>2</sub>P<sub>1</sub>处理的最高,N<sub>2</sub>P<sub>2</sub>的次之,分别比N<sub>0</sub>P<sub>0</sub>处理显著增加30.23%~38.54%,20.50%~36.81%。可见,在本试验区同等肥力土壤条件下,氮磷施用量分别为150 kg/hm<sup>2</sup>,75 kg/hm<sup>2</sup>的高氮低磷配施(N<sub>2</sub>P<sub>1</sub>)是旱地胡麻高产节肥的最佳施肥处理。

**关键词:**胡麻; 施肥; 耗水特性; 籽粒产量

中图分类号:S563.2

文献标识码:A

文章编号:1005-3409(2017)03-0188-06

## Effects of Fertilization on Water Consumption Characteristic and Grain Yield of *Linum usitatissimum* L. in Dry Land

WU Bing<sup>1,2</sup>, GAO Yuhong<sup>2,3</sup>, GAO Zhenni<sup>2,4</sup>, YAN Bin<sup>2,3</sup>,  
ZHANG Zhongkai<sup>2,3</sup>, CUI Zhengjun<sup>2,3</sup>, NIU Junyi<sup>2,3</sup>

(1. College of Life Sciences and Technology, Gansu Agricultural University, Lanzhou 730070, China; 2. Gansu Provincial Key Laboratory of Arid land Crop Science, Lanzhou 730070, China; 3. College of Agronomy, Gansu Agricultural University, Lanzhou 730070, China; 4. College of Information Sciences and Technology, Gansu Agricultural University, Lanzhou 730070, China)

**Abstract:** In order to regulate the combined application levels of N and P reasonably in the process of *Linum usitatissimum* L. production, field experiment in dry land was conducted to elucidate the effects of fertilization on water consumption characteristic, grain yield and water use efficiency of *Linum usitatissimum* L. which was ‘Longyaza 1’, thereby providing theoretical reference for fertilizer application of rain-fed *Linum usitatissimum* L. in hilly area of the Loess Plateau. Four fertilizer application treatments were 2 nitrogen levels: N<sub>1</sub> (75 kg/hm<sup>2</sup>) and N<sub>2</sub> (150 kg/hm<sup>2</sup>), and 2 phosphorus levels: P<sub>1</sub> (75 kg/hm<sup>2</sup>) and P<sub>2</sub> (150 kg/hm<sup>2</sup>), which were marked for N<sub>1</sub>P<sub>1</sub>, N<sub>1</sub>P<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>P<sub>1</sub>, N<sub>2</sub>P<sub>2</sub>, and the control (N<sub>0</sub>P<sub>0</sub>) was without nitrogen and phosphorous fertilizer. The results indicated that total water consumption rose with increase of the application amounts of N and P in 2013, reached the peak as the fertilization increased to the level of N<sub>2</sub>P<sub>1</sub> in 2014 and markedly enhanced by 10.23% than N<sub>2</sub>P<sub>2</sub> which was the maximum rate of fertilizer. Compared with the N<sub>0</sub>P<sub>0</sub>, the water consumption at depth of 100—200 cm of soil obviously increased by 13.03~19.36 mm. Besides, water consumption at the budding to full-flowering periods had a sharp increase with the amount of fertilization in 2013, whereas the N<sub>2</sub>P<sub>1</sub> was the most in 2014 and significantly enhanced by 19.25% and 17.87% than the

$N_0P_0$  and  $N_2P_2$ , respectively. These results indicated that combined application of N and P could improve the absorption of soil moisture, especially for deep soil water, to meet the water requirement of *Linum usitatissimum* L. in later growth period. In addition, the grain yield of *Linum usitatissimum* L. decreased in the order:  $N_2P_1 > N_2P_2 > N_1P_2 > N_1P_1 > N_0P_0$ , and yield of  $N_2P_1$  was 44.27%~56.55% higher compared the  $N_0P_0$ . The changes of water use efficiency was fairly consistent with grain yield, and the  $N_2P_1$  was the largest, followed by the  $N_2P_2$  under different fertilizations, which were raised by 30.23%~38.54% and 20.50%~36.81%, respectively, compared with the treatment of  $N_0P_0$ . As far as saving-fertilizer and high-yield were concerned in the experiment, the most appropriate fertilizer treatment for recommendation was the one which had 150 kg/hm<sup>2</sup> (N) and 75 kg/hm<sup>2</sup> ( $P_2O_5$ ) for rain-fed *Linum usitatissimum* L. under the climate conditions of the experimental area.

**Keywords:** *Linum usitatissimum* L.; fertilization; water consumption characteristic; grain yield

土壤贫瘠是制约我国旱地土壤生产力和降水利用率的瓶颈。随着我国北方半干旱区气候干暖化趋势增加,土壤干旱化逐渐严重<sup>[1]</sup>,如何最大限度地利用天然降雨,提高水分利用效率对促进旱地农业的可持续发展具有重要意义。研究表明,施肥能改善土壤的肥力状况,通过“以肥调水”提高了农田的生产力。近年来,肥料在增加作物水分利用效率和缓解干旱胁迫中的作用已成为国内外学者研究的重点<sup>[2]</sup>。李立科等<sup>[3]</sup>提出,通过改变施肥水平来调控作物对土壤水分的消耗,强化对农田作物以水肥为主要生长因素的调控力度,进而可以全面提高北方旱地农业的生产水平。刘文国等<sup>[4]</sup>研究认为,适量施氮可以有效保持土壤水分,提高土壤贮水量。氮、磷化肥的合理配施能使植株充分利用土壤水分,提高作物产量和水分利用效率,起到以肥促水的作用<sup>[5]</sup>。刘德平等<sup>[6]</sup>研究表明,氮、磷合理配施能够在保证产量的前提下,适量减少氮、磷施用量有利于作物对水肥的利用,还减轻了农业面源污染。可见,施肥不仅促进了作物的生长发育,而且增强了其对水肥的吸收利用,是实现旱地作物增产和土壤水分有效利用的主要措施<sup>[7-8]</sup>。

胡麻(*Linum usitatissimum* L.)是我国仅次于大豆(*Glycine max* L.)、油菜(*Brassica campestris* L.)、向日葵(*Helianthes annuus* L.)和花生(*Arachis hypogaea* L.)的第五大油料作物之一,主要分布于甘肃、内蒙、宁夏、山西、河北等省区,具有较强的耐旱、耐寒和耐瘠薄能力<sup>[9-10]</sup>。胡麻是需肥较多而不耐高氮的作物,也是对磷敏感的作物<sup>[8-12]</sup>。氮、磷肥的施用量是影响旱地胡麻籽粒产量的首要因素<sup>[13]</sup>,适宜的氮磷配比可使胡麻籽粒产量增加 20.49%~77.27%<sup>[14]</sup>。由于施肥对胡麻产量和水分利用均有显著的影响<sup>[15]</sup>,如何在有限的水分条件下,通过合理施肥提高籽粒产量和降水利用效率是当前旱地胡麻生产中亟需解决

的问题。为此,在黄土高原典型旱作生态条件下,本研究于 2013—2014 年进行定位试验,比较分析不同施肥水平对旱地胡麻籽粒产量和水分利用效率的影响,探讨适合旱地胡麻高产栽培的施肥水平,以期为旱地胡麻高产高效栽培提供理论依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验区概况

试验于 2013—2014 年在定西市农业科学院西寨油料试验站进行,该区地处黄土高原丘陵沟壑区,海拔 2 050 m,年平均气温 6℃,年日照时数 2 453 h,无霜期 213 d,年降雨量 390 mm。试验地为梯田,土壤属黄绵土,0—200 cm 平均土壤容重为 1.21 g/cm<sup>3</sup>,pH 值 8.17,肥力中等。两年胡麻生育期降雨量分别为 341.50,250.20 mm。

### 1.2 试验设计

试验因素为氮肥和磷肥。氮(纯 N)设 2 个水平,75 kg/hm<sup>2</sup> ( $N_1$ ),150 kg/hm<sup>2</sup> ( $N_2$ );磷(纯  $P_2O_5$ )设 2 个水平,75 kg/hm<sup>2</sup> ( $P_1$ ),150 kg/hm<sup>2</sup> ( $P_2$ ),共 4 个处理,分别为  $N_1P_1$ ,  $N_1P_2$ ,  $N_2P_1$  和  $N_2P_2$ ,并设对照处理( $N_0P_0$ ,不施氮磷肥)。试验小区面积 20 m<sup>2</sup> (4 m×5 m),3 次重复,随机区组排列。所用氮、磷、钾肥种类分别为尿素(含纯 N 46.4%)、过磷酸钙(含  $P_2O_5$  12%)、硫酸钾(含  $K_2O$  52%),施钾量均为 35 kg/hm<sup>2</sup>,其中氮肥基追比 2:1(现蕾前追施),磷肥和钾肥均作为基肥一次性施入。小区间、重复间分别设置 30 cm,50 cm 宽的走(过)道,四周设置 1 m 宽的保护行。供试胡麻品种为“陇亚杂 1 号”,播种密度为 750 万株/hm<sup>2</sup>,人工条播,播深 3 cm,行距 20 cm。2013 年 4 月 10 日播种,8 月 27 日收获;2014 年 4 月 12 日播种,8 月 24 日收获。胡麻生长期间,所有处理均未进行灌溉,其他田间管理方式同当地大田生产。

### 1.3 测定项目及方法

1.3.1 土壤含水量 在胡麻苗期、现蕾期、盛花期、青果期和成熟期采用常规土钻取土烘干法测定 0—200 cm 土层的土壤含水量,每 20 cm 为一个土层,重复 3 次。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<sup>[16]</sup>。土壤贮水量: $S_w = d \times r \times w \times 0.1$ ,式中, $S_w$  为土壤贮水量(mm); $d$  为土层厚度(cm); $r$  为土壤容重( $\text{g}/\text{cm}^3$ ),本试验区土壤容重为  $1.21 \text{ g}/\text{cm}^3$ ;  $w$  为土壤含水量(%)。

1.3.2 耗水量 采用农田水分平衡法<sup>[17]</sup>计算作物耗水量(mm): $ET_a = P + I + \Delta W$ ,式中: $ET_a$  为胡麻生育期耗水量(mm),包括植株蒸腾量与棵间蒸发量; $P$  为降雨量(mm); $I$  为灌溉量(mm); $\Delta W$  为胡麻不同生育时期之间的土壤贮水变化量,即土壤贮水消耗量。

1.3.3 籽粒产量 测定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。

1.3.4 水分利用效率 水分利用效率=籽粒产量( $\text{kg}/\text{hm}^2$ )/胡麻全生育期耗水量(mm)。

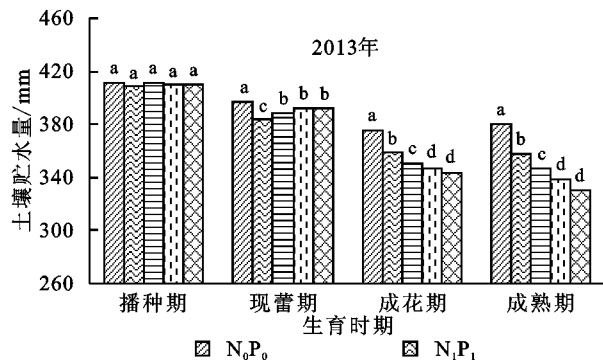
### 1.4 数据分析

采用 Microsoft Excel 2010 和 SPSS 19.0 软件处理和分析数据,用 LSD 法进行多重比较。

## 2 结果与分析

### 2.1 施肥对 0—200 cm 土壤贮水量的影响

由图 1 可知,不同施肥水平下胡麻各生育时期 0—200 cm 土壤贮水量存在明显差异。在 2013 年伴随胡麻现蕾后多次出现的降雨呈现出“高低反复”的



注:同一年份的不同字母表示在  $p < 0.05$  水平上差异显著。

图 1 0—200 cm 土壤贮水量随生育时期的变化

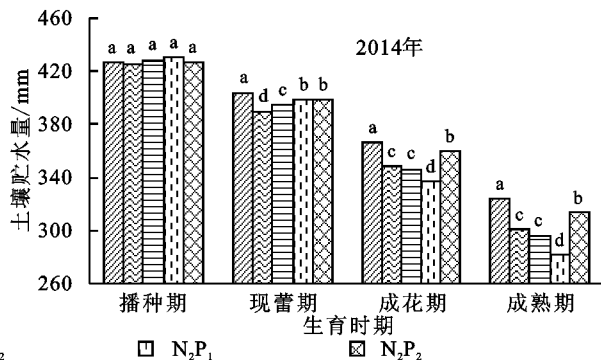
### 2.3 施肥对 0—200 cm 各土层土壤贮水消耗量的影响

由图 2 可见,不同施肥处理 0—200 cm 各土层耗水量总体上明显大于  $N_0P_0$  处理,且 0—200 cm 各土层耗水量的变异系数在两个生长季均表现为: $N_0P_0$  处理(50.48%,42.92%)>施肥处理(41.45%,36.

变化趋势,而 2014 年表现为随胡麻生育期的后延而逐渐下降。在胡麻现蕾期,与  $N_0P_0$  处理相比,胡麻两个生长季施肥处理 0—200 cm 土壤贮水量分别显著降低 1.07%~3.37% 和 1.11%~3.61% ( $p < 0.05$ ),此后随着胡麻生育的进程,0—200 cm 土壤贮水量随着施肥量的增加而呈现下降的趋势。就生育后期土壤贮水量的变化而言,2013 年,胡麻盛花期和成熟期各施肥处理 0—200 cm 土壤贮水量表现为  $N_1P_1 > N_1P_2 > N_2P_1 > N_2P_2$ ,显著低于  $N_0P_0$  处理 4.77%~9.44% 和 6.37%~14.93%。2014 年,胡麻盛花期各施肥处理的 0—200 cm 土壤贮水量以  $N_2P_1$  处理的最低,较  $N_2P_2$ , $N_0P_0$  处理显著降低 6.34% 和 7.87%;成熟期  $N_1P_1$ , $N_1P_2$ , $N_2P_1$  和  $N_2P_2$  处理的 0—200 cm 土壤贮水量比  $N_0P_0$  处理显著降低 5.02%, 5.89%,8.55% 和 1.67%。

### 2.2 施肥对农田总耗水量的影响

由表 1 可见,不同施肥水平下农田总耗水量显著高于不施肥  $N_0P_0$  处理,施肥明显提高了胡麻对土壤贮水的吸收利用。在胡麻两个生长季节,不同处理的农田总耗水量以  $N_2P_2$  (2013 年)和  $N_2P_1$  处理(2014 年)农田耗水量最高,分别比  $N_0P_0$  处理显著增加 13.14% 和 13.00%。就不同施肥水平下土壤贮水消耗量而言,两个生长季  $N_1P_1$ , $N_1P_2$ , $N_2P_1$  和  $N_2P_2$  处理分别比  $N_0P_0$  处理高 20.28,32.72,40.15,48.96 mm(2013 年)和 22.18,28.60,45.89,8.85 mm(2014 年),差异显著。不同年际间比较,2014 年施肥处理土壤贮水消耗量平均为 129.30 mm,高于 2013 年 94.54%,这表明氮磷配施对胡麻根系吸收利用土壤贮水的促进效应在干旱年份更加明显。



90%),可见氮磷配施下各土层耗水量的差异小于  $N_0P_0$  处理,施肥更有利于植株均衡地调用各土层的水分。比较氮磷配施与  $N_0P_0$  处理下各土层耗水量的差异,2013 年,施肥处理与  $N_0P_0$  的差异主要集中在 100 cm 以上土层,0—100 cm 土层平均贮水消耗

量高于  $N_0P_0$  处理 22.65 mm;2014 年,施肥处理与  $N_0P_0$  的差异主要集中在 100 cm 以下土层,与  $N_0P_0$  处理相比,100—200 cm 的耗水增加 19.36 mm。这表明施肥增加了胡麻根系对深层土壤水分的吸收,而且在干旱年份(2014 年)施肥更为明显地促进了植株对深层土壤水分的利用。4 种施肥处理相比较,2013 年各土层耗水量差异以 40—120 mm 土层较大,而 2014 年以 100—160 mm 土层差异较大。不同土层耗水量的变异系数 2013 年为  $N_1P_2$  (45.18%)> $N_1P_1$  (44.14%)> $N_2P_2$  (41.01%)> $N_2P_1$  (35.48%),2014 年表现为  $N_1P_1$  (39.62%)> $N_2P_2$  (39.02%)> $N_1P_2$  (34.75%)> $N_2P_1$  (34.20%),即不同氮磷施肥水平下, $N_2P_1$  处理对各土层土壤贮水的吸收利用最为均衡。

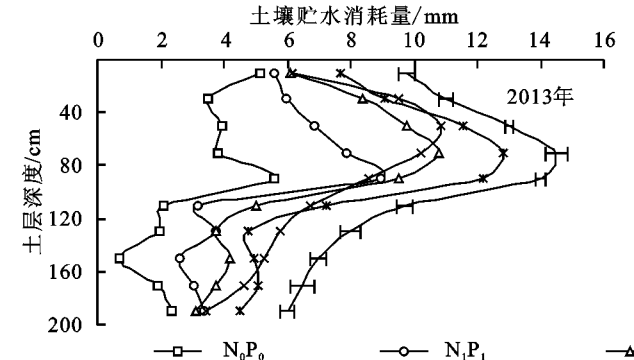


图 2 0—200 cm 各土层土壤贮水消耗量

2.4 施肥对胡麻阶段耗水的影响

由表 2 可见,不同处理间胡麻各个生育阶段耗水状况存在明显的差异,由于施肥增加了土壤养分,对胡麻的生长发育产生一定的影响,进而胡麻各生育阶段的耗水状况也随之改变。播种至现蕾期,胡麻植株小,土壤水分主要以地表蒸发为主,与不施肥  $N_0P_0$  处理相比,2013 年、2014 年施肥处理在此阶段的耗水量平均显著增加 5.98%,13.73%,且以  $N_1P_1$  处理的耗水量及其占总耗水的比例最大;2013 年各处理的阶段耗水量明显高于 2014 年,这可能与 2013 年此阶段的降雨补充较多有关,导致阶段耗水量较 2014 年平均增加 40.73 mm。现蕾至盛花期是胡麻生长最旺盛的阶段,两个生长季施肥处理的阶段耗水量分别平均高于  $N_0P_0$  处理 13.47%和 8.12%,阶段耗水量占总耗水量的比例以  $N_2P_2$  (2013 年)、 $N_2P_1$  处理(2014 年)的最大,比  $N_0P_0$  处理显著增加 6.77%和 5.54%。盛花至成熟期是胡麻生育期主要耗水阶段,2013 年,各施肥处理在此阶段的耗水量随着施肥量的增加而增加,较  $N_0P_0$  处理显著增加 4.40%~13.24%;2014 年  $N_2P_1$  处理的阶段耗水量最大,显著高于  $N_0P_0$  处理 8.11%,而  $N_2P_2$  处理阶段耗水量明显低于  $N_2P_1$  处理 5.74%。

表 1 胡麻田总耗水量及其分配

年份	处理	总耗水量/mm	降雨量		土壤贮水消耗量	
			总量/mm	比例/%	总量/mm	比例/%
2013	$N_0P_0$	372.44d	341.50	91.69a	30.94d	8.31d
	$N_1P_1$	392.72c	341.50	86.96b	51.22c	13.04c
	$N_1P_2$	405.16b	341.50	84.29bc	63.66b	15.71b
	$N_2P_1$	412.59b	341.50	82.77c	71.09ab	17.23ab
	$N_2P_2$	421.39a	341.50	81.04c	79.89a	18.96a
2014	$N_0P_0$	353.12e	250.20	70.85a	102.92d	29.15d
	$N_1P_1$	375.30c	250.20	66.67b	125.10b	33.33b
	$N_1P_2$	381.72b	250.20	65.54b	131.52b	34.46b
	$N_2P_1$	399.01a	250.20	62.70c	148.81a	37.30a
	$N_2P_2$	361.97d	250.20	69.12a	111.77c	30.88c

注:不同小写字母表示处理间在 0.05 水平上差异显著,下同。

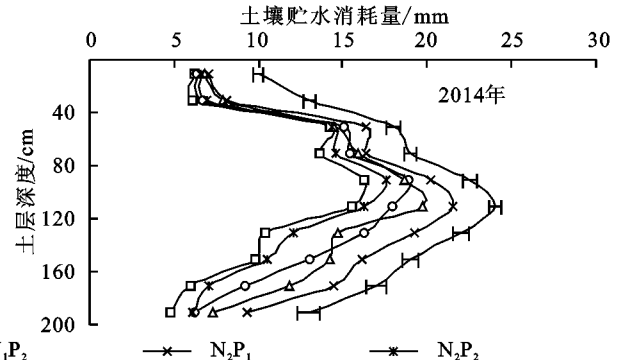


表 2 胡麻各生育阶段耗水量及其总耗水量的比例

年份	处理	播种期—现蕾期		现蕾期—盛花期		盛花期—成熟期	
		数量/mm	比例/%	数量/mm	比例/%	数量/mm	比例/%
2013	$N_0P_0$	108.73c	29.19b	135.46c	36.37c	128.25d	34.44a
	$N_1P_1$	119.17a	30.35a	139.65c	35.56d	133.90c	34.09a
	$N_1P_2$	116.95ab	28.86b	151.91b	37.49b	136.31c	33.64b
	$N_2P_1$	112.26c	27.21c	159.65a	38.70a	140.68b	34.10a
	$N_2P_2$	112.53bc	26.70c	163.64a	38.83a	145.23a	34.46a
2014	$N_0P_0$	65.96d	18.68c	126.84c	35.92bc	160.33c	45.40a
	$N_1P_1$	79.56a	21.20a	130.28c	34.71d	165.46b	44.09bc
	$N_1P_2$	75.79ab	19.86b	138.69b	36.33b	167.24b	43.81c
	$N_2P_1$	74.42b	18.65c	151.26a	37.91a	173.33a	43.44c
	$N_2P_2$	70.26c	19.41bc	128.33c	35.45c	163.38bc	45.14ab

2.5 施肥对胡麻籽粒产量和水分利用效率的影响

由图 3 可知,施肥可显著提高胡麻的籽粒产量和水分利用效率。就籽粒产量而言,在胡麻的两个生长季,籽粒产量随着施肥量的增加而增加,至  $N_2P_1$  水平时达到最大值,随之明显下降,降幅达 5.50%~6.03%。与不施肥  $N_0P_0$  处理相比,两个生长季  $N_1P_1$ 、 $N_1P_2$ 、 $N_2P_1$  和  $N_2P_2$  处理的籽粒产量分别增加 16.21%,28.47%,44.27%,36.34%(2013 年)和 21.69%,36.05%,56.55%,47.10%(2014 年),呈显著性差异水平。不同施肥处理的水分利用效率与籽粒产量的变化趋势

基本一致,表现为  $N_2P_1 > N_2P_2 > N_1P_2 > N_1P_1 > N_0P_0$ 。2013年  $N_2P_1$  处理的水分利用效率分别比  $N_2P_2$ ,  $N_1P_2$ ,  $N_1P_1$ ,  $N_0P_0$  处理显著增加 8.08%, 10.28%, 18.17% 和 30.23%; 而在 2014 年,  $N_2P_1$  处理的水分

利用效率最大,  $N_1P_2$  的次之, 显著高于  $N_0P_0$  处理 38.54% 和 36.81%, 但  $N_2P_1$ ,  $N_1P_2$  处理之间的差异不显著。两年施肥处理的水分利用效率较  $N_0P_0$  处理平均增加 19.76% 和 28.93%。

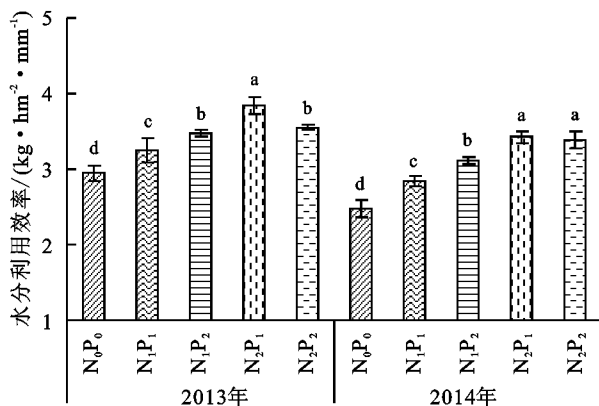
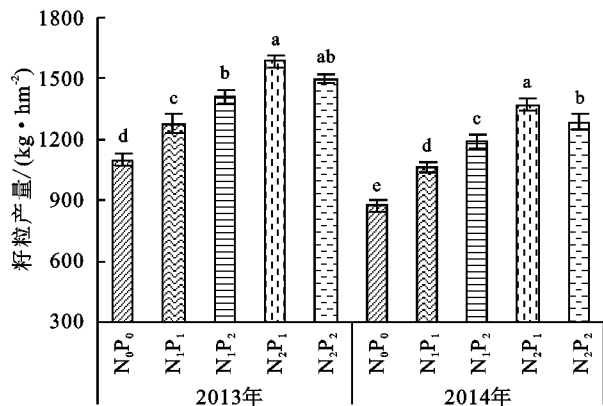


图3 胡麻的籽粒产量和水分利用效率

### 3 讨论

在旱地农田生态系统中,土壤水分状况直接影响着作物的生长发育和籽粒产量的形成。研究认为,水肥之间存在耦合效应,养分不足在很大程度上限制水分作用的发挥,而过量施肥不仅导致肥料的经济效益降低,污染环境的潜势增加,还会造成作物对深层土壤水分的过度消耗形成土壤干层<sup>[18-20]</sup>。亦有研究表明,合理的氮磷钾配施可提升根系活力,扩大根系对土壤水分和养分吸收的空间,实现有限水分的最大效率利用<sup>[8,21]</sup>。本试验中,氮磷配施对旱地胡麻根系吸收利用土壤贮水具有明显的促进效益。在胡麻两个生长季,氮磷配施处理的土壤贮水消耗量分别比不施肥  $N_0P_0$  处理增加 35.53, 26.38 mm, 而且 2014 年施肥处理土壤贮水消耗量平均为 129.30 mm, 高于 2013 年 94.54%, 这说明氮磷配施下胡麻根系对土壤贮水的吸收利用能力在干旱年份(2014 年)更加明显。施肥水平下胡麻生育期内的农田耗水量两年分别比不施肥  $N_0P_0$  处理显著增加 9.54% 和 7.47%。不同年际间比较, 2013 年的农田耗水量随着施肥量的增加而增加, 而 2014 年随着施肥水平增加至  $N_2P_1$  时, 耗水量达到高峰, 较  $N_2P_2$  处理显著增加 10.23%, 这可能与 2014 年盛花期的高温少雨有关(降雨量仅为 39.0 mm, 而 2013 年的降雨量达 137.8 mm), 高肥对胡麻的生长产生负效应, 造成根系对土壤贮水的吸收能力下降, 这与张冬梅等<sup>[22]</sup>关于不同降雨年型施肥量对旱地玉米生长的研究结论一致。

土壤深层贮水具有较高的生物有效性, 开发利用的潜力很大, 增加深层土壤水分的利用程度可明显提高水分利用率<sup>[23-24]</sup>。从各土层土壤贮水消耗量的变化来看, 施肥处理 0—200 cm 各土层耗水量总体上明

显大于  $N_0P_0$  处理, 两年施肥处理 100—200 cm 土层的耗水量较  $N_0P_0$  处理分别增加 13.03, 19.36 mm, 这表明施肥增加了胡麻根系对深层土壤水分的吸收, 而且在干旱年份施肥更为明显地促进了植株对深层土壤水分的利用。各施肥处理在不同土层耗水量的变异系数以  $N_2P_1$  处理的最低, 说明  $N_2P_1$  处理可以均衡地调用各土层的土壤贮水, 避免土壤水分亏缺层的出现。因此, 在旱地胡麻栽培中, 合理氮磷配施可以通过“以肥调水”来提高土壤的供水量, 同时保持土壤水库缓冲能力<sup>[25]</sup>。本试验中, 不同施肥水平下胡麻各个生育阶段耗水状况存在明显的差异。施肥处理在播种至现蕾期的阶段耗水量及其占总耗水量的比例均以  $N_1P_1$  处理最大, 比不施肥  $N_0P_0$  处理显著增加 9.61%~20.63%, 3.94%~13.50%。两个生长季, 现蕾至盛花期的阶段耗水量及其总耗水量的比例分别以  $N_2P_2$  (2013 年)、 $N_2P_1$  (2014 年) 处理的最大, 显著高于  $N_0P_0$  处理 20.80%, 6.77% 和 19.25%, 5.54%。在盛花至成熟期, 2013 年各施肥处理在此阶段的耗水量随着施肥量的增加而增加, 而 2014 年以  $N_2P_1$  处理的阶段耗水量最大, 较  $N_0P_0$ ,  $N_2P_2$  处理分别显著增加 8.11% 和 6.09%。可见, 由于受降雨量的影响, 两年中  $N_2P_2$  处理(2013 年)、 $N_2P_1$  处理(2014 年)对胡麻生育后期耗水的影响较为明显, 有利于胡麻现蕾后稳定供水, 为籽粒产量的增加奠定良好的基础。

土壤瘠薄影响着作物水分利用潜力, 施肥可促进作物对土壤水分的吸收利用, 致使土壤生产力和作物水分利用效率显著提高<sup>[5,8]</sup>。杜红霞等<sup>[26]</sup>研究认为, 合理的氮磷配施有利于玉米产量的增加和水分利用效率的提高, 而氮、磷比例失调会抑制作物生长, 影响作物产量和水分利用效率。本研究表明, 两个生长季, 籽粒产量随着施肥量的增加而增加, 至  $N_2P_1$  水平时

达到最大值,随之明显下降,降幅达 5.50%~6.03%。与不施肥  $N_0P_0$  处理相比,  $N_1P_1$ ,  $N_1P_2$ ,  $N_2P_1$  和  $N_2P_2$  处理的籽粒产量分别显著增加 16.21%~21.69%, 28.47%~36.05%, 44.27%~56.55%, 36.34%~47.10%。胡麻的水分利用效率与籽粒产量的变化趋势基本一致,各施肥处理中以  $N_2P_1$  处理的水分利用效率最大,  $N_2P_2$  的次之,分别比  $N_0P_0$  处理显著增加 30.23%~38.54%, 20.50%~36.81%。因此,氮磷配施是提高旱地胡麻的籽粒产量和水分利用效率的重要措施,这与杨文等<sup>[27]</sup>在旱地春小麦上的研究结果一致。在高耗水的基础上,不同施肥水平下胡麻籽粒产量的明显增加有利于提高水分利用效率,通过水肥耦合可以充分挖掘旱地胡麻的增产潜力。

## 4 结论

合理的氮磷配施可显著提高旱地胡麻的籽粒产量和水分利用效率,以  $N_2P_1$  处理 ( $150\text{ kg/hm}^2$ ,  $75\text{ kg/hm}^2$ ) 的增产优势最为明显,增产达 44.27%~56.55%,且水分利用效率提高 30.23%~38.54%,达到  $3.43\sim 3.84\text{ kg}/(\text{hm}^2\cdot\text{mm})$ 。主要原因是:氮磷配施明显促进了旱地胡麻对土壤贮水的吸收,且在干旱年份更为突出地增加了植株对深层水分的调用。各施肥处理中,  $N_2P_1$  处理可以均衡地调用各土层的土壤贮水,在耗水模式上将有限水分更多用于现蕾后开花阶段和籽粒灌浆阶段,最终获得高产和高水分利用率。可见,在本试验区同等肥力土壤条件下,氮磷施用量分别为  $150\text{ kg/hm}^2$ ,  $75\text{ kg/hm}^2$  的高氮低磷配施是旱地胡麻高产节肥的最佳施肥处理。

### 参考文献:

- [1] 符淙斌,马柱国. 全球变化与区域干旱化[J]. 大气科学, 2008, 32(4): 14-19.
- [2] 王立为,潘志华,高西宁,等. 不同施肥水平对旱地马铃薯水分利用效率的影响[J]. 中国农业大学学报, 2012, 17(2): 54-58.
- [3] 李立科,吕向贤. 在渭北一年一熟的旱地农区改引水灌溉为就地开发[J]. 陕西农业科学, 2011(2): 126-129.
- [4] 刘文国,张建昌,曹卫贤,等. 旱地小麦不同栽培条件对土壤水分利用效率的影响[J]. 西北农业学报, 2006, 15(5): 47-51.
- [5] 郭胜利,党廷辉,郝明德. 施肥对半干旱地区小麦产量,  $\text{NO}_3^-$ -N 累积和水分平衡的影响[J]. 中国农业科学, 2005, 38(4): 754-760.
- [6] 刘德平,杨杨青,史海滨,等. 氮磷配施条件下作物产量及水肥利用效率[J]. 生态学杂志, 2014, 33(4): 902-909.
- [7] 党廷辉. 施肥对旱地冬小麦水分利用效率的影响[J]. 生态农业研究, 1999, 7(2): 28-31.
- [8] 张仁陟,李小刚,胡恒觉. 施肥对提高旱地农田水分利用效率的机理[J]. 植物营养和肥料学报, 1999, 5(3): 221-226.
- [9] 党占海,张建平. 我国亚麻产业现状及发展对策[M]. 北京:中国农业科学技术出版社, 2004.
- [10] 崔红艳,胡发龙,方子森,等. 不同施氮水平对胡麻根系形态和氮素利用的影响[J]. 中国油料作物学报, 2015, 37(5): 694.
- [11] 索全义,郝虎林,索风兰. 磷钾化肥对胡麻产量形成的影响[J]. 内蒙古农业科技, 2001(S3): 18-19.
- [12] 谢亚萍,李爱荣,闫志利,等. 不同供磷水平对胡麻磷素养分转运分配及其磷肥效率的影响[J]. 草业学报, 2014, 23(1): 158-166.
- [13] 令鹏. 密度和氮磷施用量对旱地胡麻产量的影响[J]. 甘肃农业科技, 2010(9): 34-35.
- [14] 魏景云,高炳德. 旱地油用亚麻优化施肥研究[J]. 中国油料作物学报, 1998, 20(4): 46-50.
- [15] 崔红艳,许维成,孙毓民,等. 施用有机肥对土壤水分, 胡麻产量和品质的影响[J]. 水土保持学报, 2014, 28(3): 307-312.
- [16] 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.
- [17] 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.
- [18] 王殿武,刘树庆. 高寒半干旱区春小麦田施肥及水肥耦合效应研究[J]. 中国农业科学, 1999, 32(5): 62-68.
- [19] 王晓峰,田霄鸿,陈自惠,等. 不同覆盖施肥措施对黄土旱塬冬小麦土壤水分的影响[J]. 应用生态学报, 2009, 20(5): 1105-1111.
- [20] 郭胜利,吴金水,郝明德,等. 长期施肥对  $\text{NO}_3^-$ -N 深层累积和土壤剖面中水分分布的影响[J]. 应用生态学报, 2003, 14(1): 75-78.
- [21] 吴海卿,杨传福. 以肥调水提高水分利用效率的生物学机制研究[J]. 灌溉排水, 1998, 17(4): 6-10.
- [22] 张冬梅,池宝亮,张伟,等. 不同降水年型施肥量对旱地玉米生长及水分利用效率的影响[J]. 西北农业学报, 2012, 21(7): 84-90.
- [23] 刘庚山,郭安红,任三学,等. 人工控制有限供水对冬小麦根系生长及土壤水分利用的影响[J]. 生态学报, 2003, 23(11): 2342-2352.
- [24] 安顺清,刘庚山. 冬小麦底墒供水特征研究[J]. 应用气象学报, 2000, 11(A06): 119-127.
- [25] 郭天文,谢永春,张平良,等. 不同种植和施肥方式对旱地春玉米土壤水分含量及其水分利用效率的影响[J]. 水土保持学报, 2015, 29(5): 231-238.
- [26] 杜红霞,吴普特,冯浩,等. 氮磷肥配施对夏玉米土壤含水量及水分利用效率的影响[J]. 灌溉排水学报, 2009, 28(3): 12-15.
- [27] 杨文,周涛. 氮磷配施对旱地春小麦水分利用效率及水肥交互作用的影响[J]. 干旱地区农业研究, 2008, 26(5): 10-16.