

不同耕作方式对小杂粮产量及水分利用效率的影响

姚爱华¹, 冯佰利¹, 柴 岩¹, 高金锋¹, 刘建华², 薛少平¹, 朱瑞祥¹

(1. 西北农林科技大学, 陕西 杨凌 712100; 2. 陕西省横山县农业技术推广站, 陕西 横山 719101)

摘 要: 采用深松耕、免耕、传统耕 3 种耕作方式, 研究了陕北小杂粮产区不同耕作方式对小豆、糜子产量和水分利用效率的影响。结果表明, 免耕和深松耕有利于改善土壤物理结构, 增加土壤的蓄水保墒能力, 提高水分利用效率, 节水、节本、增产增效明显, 是比较理想的耕作方式。

关键词: 保护性耕作; 小杂粮; 水分利用效率

中图分类号: S344 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-7601(2008)01-0097-05

保护性耕作是相对于传统翻耕的一种新型耕作技术, 它从 20 世纪中期以来先后在美国、澳大利亚、加拿大等国推广^[1]。我国从 20 世纪 80 年代初期开始着手研究少、免耕农作系统, 尤其是近 20 年来, 随着人口的迅速增长, 生态环境日益恶化, 水土流失以及干旱逐年加剧, 旱区各地将少耕、免耕、深松耕等保水、保土耕作措施与覆盖措施相结合, 形成了多种类型的旱地保护性耕作技术^[2]。实践证明, 以秸秆覆盖和少、免耕为中心的保护性耕作法, 可增加土壤有机质, 改善土壤结构, 控制水土流失, 减少风蚀、水蚀, 缓解沙尘危害^[3]。中国北方多点试验示范结果表明, 保护性耕作可以减少地表径流, 减少土壤流失, 减少田间大风扬尘^[4~5]。曹连生研究表明, 保护性耕作地的休闲期蓄水量高于传统耕作 15%, 水分利用效率多年平均高于传统耕作 17%, 9 年平均小麦增产 24%^[6]。

小杂粮是小宗粮豆作物的总称, 泛指生育期短、种植面积小、种植地域性强、种植方法特殊、有特殊用途的多种粮豆作物^[7]。它抗旱耐贫瘠, 不仅是旱区农民的食物来源, 也是其重要的经济来源。陕北是小杂粮的主产区, 无霜期短、干旱少雨、春旱严重, 土壤水分不足成为小杂粮生产发展的重要制约因素。而且, 传统的翻耕模式造成了水土流失加大, 风沙灾害频繁发生和生态环境恶化的后果。因此, 研究推广保护性耕作技术, 减少耕作次数, 减少土壤水分蒸发, 防止风蚀和水土流失, 改善生态环境, 提高水分利用效率成为当前重要的研究课题。为了探讨小杂粮保护性耕作在陕北地区的节水和增产效果, 在横山县古水村台塬开展了不同耕作方式下小豆、

糜子产量和水分利用效率的研究, 旨在探讨陕北长城沿线区小杂粮节水节本增产的栽培模式, 为促进小杂粮生产提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验区自然条件

试验于 2004~2005 年在陕西横山县古水村进行, 该区气候具有典型的大陆性干旱、半干旱季风气候特征, 多年平均降水量 385.4 mm, 2004 年降水量 321.3 mm, 2005 年降水量 267.4 mm。降水量年内分配不均, 年际间变率大, 农业生产以天然降水为主。年平均气温 8.6℃, 最高气温 38.4℃, 最低气温 -29℃, 多年平均无霜期 155 d, 土壤为沙壤土。

1.2 试验材料与设计

2004 年供试作物为小豆 (冀红 5 号), 2005 年供试作物为糜子 (榆糜 1 号)。试验采用大区对比设计, 于播前进行深松耕、免耕和传统耕 3 种处理。免耕处理用西北农林科技大学研制生产的小杂粮免耕施肥播种机硬茬播种; 深松处理采用西北农林科技大学研制的 9JHS-150/3 型秸秆粉碎覆盖深松机进行, 深松深度为 35 cm, 深松同时进行镇压; 传统处理采用铁铧犁翻耕, 耕深 25 cm, 然后浅旋镇压。每个处理 0.3 hm², 共占地面积 1 hm²。2004 年 6 月 25 日采用小杂粮免耕施肥播种机播种小豆, 播量为 30 kg/hm², 2005 年在相同的耕作条件下于 6 月 15 日播种糜子, 播量为 22.5 kg/hm²。

1.3 测定方法与采样考种

水分测定采用传统土钻取样方法, 于 2005 年播种期、苗期、灌浆期和收获期在每个处理按 S 形曲

收稿日期: 2007-04-21

基金项目: 农业部创新行动计划“小杂粮保护性耕作技术研究”; 国家星火计划 (2006EA850045) 及陕西省攻关 (2006K01-G17-01) 资助

作者简介: 姚爱华 (1977-) 女, 陕西韩城人, 助理工程师, 硕士, 从事小杂粮栽培研究。

通讯作者: 柴 岩 (1951-) 男, 陕西府谷人, 研究员, 从事小杂粮栽培研究。

线随机选取 5 个点,每点取样深度 100 cm,每 20 cm 一层,用烘干法测定含水量。同时用环刀法测土壤容重。

生育期在每个处理中间区域随机选取 2 行,并分别从该 2 行内随机选取 100 cm 样段,调查小豆的株数、株高及节数和糜子的穗数、株高及节数。收获时,在每个处理中间区域随机调查 5 个样点,样点面积为 1 m²,对小豆、糜子考种、测产。

1.4 水分利用效率计算

水量平衡算法在农田尺度上已经被广泛用于计算蒸散^[8],计算方法如下式所示:

$$ET = \Delta Tw + I + P + Dr + Gc \tag{1}$$

式中, ET 为农田蒸散量(mm); ΔTw 为土壤储水量在一段时间内的变化量(mm); I 为灌溉水量(mm); P 为该阶段内的降水量(mm); Dr 为地表径流; Gc 为入渗量。由于没有在平原地区,径流很少产生, Dr 可以忽略不计,该地区的地下水位在 30 m 以下, Gr 也忽略不计。

$$Tw = Ts \times \theta_v \tag{2}$$

式中, Tw 为土壤储水量(mm); Ts 为土层厚度(mm); θ_v 为土壤容积含水量(%)。

$$\theta_v = \theta_m \times \rho \tag{3}$$

式中, θ_m 为土壤质量含水量(%); ρ 为土壤容重(g/cm³)。

$$WUE_g = GY / ET \tag{4}$$

$$WUE_b = BY / ET \tag{5}$$

式中, GY 为籽粒产量; BY 为生物学产量; WUE_g 为产量水平的水分利用效率; WUE_b 为生物量的水分利用效率。

2 结果与分析

2.1 不同耕作方式对小豆、糜子群体生长发育及产量和产量构成因素的影响

从表 1 可以看出,公顷株数基本相同时,小豆株高和节数在深松区和免耕区明显大于对照,其中深松区平均株高比对照高 21.2%,免耕区平均株高比对照高 12.4%,深松区和免耕区平均节数均比对照高 0.6 节。从产量构成因素看,单株荚数以免耕区最多,为 22.2 个,比对照多 5.8 个,深松区次之,比对照多 5.1 个;而单荚粒数以深松区最多。产量深松耕处理为 1 926.1 kg/hm²,免耕处理为 1 841.1 kg/hm²,分别较对照增产 23.0%和 17.6%。

表 1 红小豆生育性状、产量及其构成因素(2004)

Table 1 Growth characteristics, yield and yield components of adzuki bean (2004)

处 理 Treatments	株高 Height (cm)	节数 Node	产量构成 Yield component				产量(kg/hm ²) Yield component	
			株数 Plant number (10 ⁴ /hm ²)	单株荚数 Shell No. per plant	单荚粒数 Grain No. per shell (grain)	百粒重 100 grain weight (g)	籽粒 Grains	生物量 Biomass
深松耕 SS Deep loosing	37.1	3.0	13.6	21.5	6.5	10.2	1926.1	3976.5
免 耕 NT No-tillage	34.4	3.0	13.2	22.2	6.2	10.2	1841.1	3813.0
传统耕 CK	30.6	2.4	13.5	16.4	6.2	11.4	1565.8	3608.5

表 2 可见,干旱对免耕处理的影响远远小于深松耕和传统耕,这可能是由于免耕技术提高了保墒性能,降低了土壤水分的蒸发量。在公顷穗数基本相同的情况下,深松耕处理的平均株高和节数明显比对照高。从产量构成因素来看,穗粒数和千粒重

均以深松处理最高,穗粒数比对照高 32.9 粒,千粒重比对照高 0.3 g。三个处理的产量以免耕最高,比对照增产 19.7%,深松处理次之,比对照增产 16.0%。

表 2 糜子田间调查及考种(2005)

Table 2 Field investigation of broom corn millet (2005)

处 理 Treatments	株高 Height (cm)	节数 Node	产量构成 Yield component			产量(kg/hm ²) Yield component	
			穗数(10 ⁴ /hm ²) Grain number	穗粒数(grain) Grain per ear	千粒重(g) Grain weight	籽粒 Grains	生物量 Biomass
深松耕 SS Deep loosing	75.38	4.50	25.8	427.9	8.0	706.5	1176.0
免 耕 NT No-tillage	69.50	4.25	33.5	368.2	7.4	729.0	1230.0
传统耕 CK	73.38	4.24	25.1	395.0	7.7	609.0	991.5

2.2 不同耕作方式对土壤水分变化的影响

从图 1 可以看出,在播种期和苗期,1 m 土层土壤含水量以免耕处理最高,深松处理次之,对照最低。而在糜子灌浆期和收获期,不同耕作方式 1 m 土层土壤含水量以深松处理最高,免耕处理次之,对照最低。这可能是由于前期降雨比较少,尤其是

6~8月持续 80 多天的高温干旱,传统耕作和深松耕不但没有截获天然降水,反而增大了土壤表面的水分蒸发,尤其表现在传统耕上,免耕技术由于地表土层破坏少,有效地防止了土壤水分的蒸发,充分显示了其保墒作用。而在糜子生长后期,天然降水趋于正常,深松处理显示了其蓄水保墒的作用。

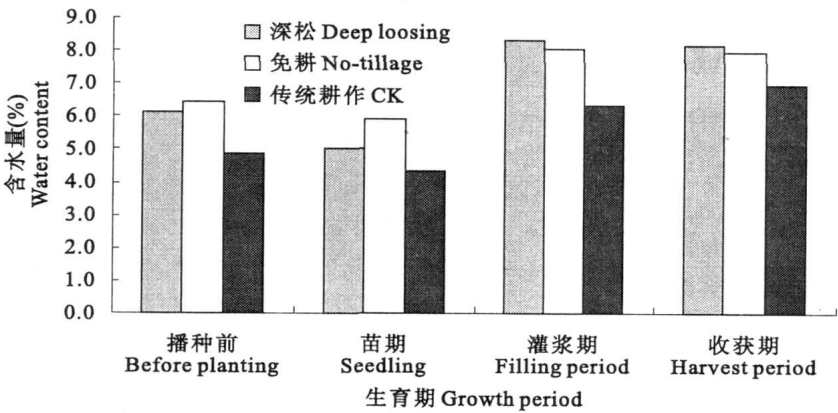


图 1 不同耕作处理 1 m 土层平均土壤含水量
Fig.1 Average water content in soil layer with 1 m depth in different tillage treatments

2.3 不同耕作方式对水分利用效率的影响

作物生长期间的耗水量和水分利用效率是衡量水分利用的重要指标^[9]。测定结果表明(表 3),在糜子生长过程中,干物质的水分利用率呈上升趋势,灌浆期最高,收获期有所下降。深松耕和免耕处理均可提高糜子的水分利用效率,在灌浆期,传统耕水分利用效率为 17.7 kg/(mm·hm²),深松耕和免耕的水分利用效率分别为 29.7 kg/(mm·hm²)和 22.7 kg/(mm·hm²),比传统耕提高 67.8%和28.2%。从灌浆期到收获期,深松耕处理的水分利用效率下降幅度最大,免耕处理次之,传统耕最小。

由表 4 可以看出,深松耕和免耕均可提高籽粒的水分利用效率。糜子生育期深松耕与对照总耗水量差别不大,但水分利用效率比对照高 15.8%。免

耕总耗水量比对照高 7.8 mm,水分利用效率比对照高 15.7%。说明深松耕和免耕对提高杂粮的产量和水分利用效率起着不可忽视的作用。在水分利用效率基本相同的情况下,深松耕处理的总耗水量比免耕处理低 7.34 mm,说明在偏干旱的年份,深松耕更有利于提高籽粒水分利用效率。

表 3 不同生育期干物质的水分利用效率
Table 3 Water use efficiency of dry matter in different stages [kg/(mm·hm²)]

处理 Treatments	苗期 Seedling	灌浆期 Milking	收获期 Maturing
深松耕 SS Deep loosening	10.2	29.7	17.3
免 耕 NT No-tillage	11.3	22.7	18.3
传统耕 CK	9.10	17.7	17.0

表 4 不同处理的籽粒水分利用效率

Table 4 Water use efficiency of seed in different treatments

处理 Treatments	播期土壤水分 SWSS (mm)	收获期土壤水分 RWSS (mm)	生育期降水 P (mm)	总耗水量 ETa (mm)	籽粒产量 Yields (kg/hm ²)	水分利用效率 WUE [kg/(mm·hm ²)]
深松耕 SS Deep loosening	75.63	101.41	249.3	223.52	706.5	3.161
免 耕 NT No-tillage	80.13	98.57	249.3	230.86	729.0	3.158
传统耕 CK	60.21	86.45	249.3	223.06	609.0	2.730

2.4 不同耕作方式的生产效益

由表 5 可以看出,无论是小豆还是糜子,在不同耕作方式下产出不同,保护性耕作较对照不仅减少

了耕作次数,节省了人力财力,降低了成本,还获得了较高的产出。在 2004 年雨水正常年份,深松耕小豆纯收入最高,每公顷较对照高出 1 871.5 元,免耕

小豆较对照高出 1 486.5 元。而在 2005 年偏干旱年份,免耕糜子纯收入最高,1hm² 较对照高出 270 元,深松耕糜子较对照高出 182.5 元。由于深松处理打破了犁底层,有效地拦截了地表径流,在雨水正

常年份相对效益较高,而在干旱年份,免耕充分地显示了其减少蒸发、蓄水保墒的优势,生产效益达到最高。

表 5 不同耕作处理下小豆、糜子产投比
Table 5 Ratio of input and output in different tillage treatments

年份 Year	作物 Crop	处理 Treatments	产量 Yield (kg/hm ²)	产值 Output value (yuan/hm ²)	投入 Input (yuan/hm ²)	产投比 Output/ Input	纯收入 Earning (yuan/hm ²)
2004	小豆 <i>Vigna angularis ohwi</i>	深松耕 SS Deep loosing	1926.1	9630.5	2030	4.7	7600.5
		免耕 NT No-tillage	1841.1	9205.5	1990	4.6	7215.5
		传统耕 CK	1565.8	7829.0	2100	3.7	5729.0
2005	糜子 <i>Panicum Miliaceum L.</i>	深松耕 SS Deep loosing	706.5	2119.5	1230	1.7	889.5
		免耕 NT No-tillage	729.0	2187.0	1210	1.8	977.0
		传统耕 CK	609.0	1827.0	1120	1.6	707.0

3 结论与讨论

与大宗作物相比,小杂粮更抗旱耐贫瘠,其产量固然与土壤养分密切相关,但作为旱地的主要胁迫因子,水分供应不足是其产量的主要限制因子,因此,进行保护性耕作,保蓄天然降水,减少蒸发,充分发挥降水的生产潜力对提高其产量非常关键。免耕和深松耕有利于改善土壤物理结构,增加土壤的蓄水保墒能力,提高水分利用效率,节水、节本、增产增效明显。本试验结果表明,在雨水正常的情况下,由于深松耕打破了犁底层,能够有效地截获天然降水,充分显示了其蓄水保墒的作用,增产增收效果比免耕明显,而在天气偏干旱的情况下,免耕最大限度地减少了土壤物理结构的破坏,提高了保墒性能,降低了土壤水分的蒸发量,增产增收效果明显。

本试验结果表明,深松耕和免耕处理杂粮的产量和水分利用效率明显高于传统耕作,2004 年小豆产量分别提高了 23.0%和 17.6%,2005 年糜子产量分别提高了 16.0%和 19.7%,生育期糜子的水分利用效率分别提高了 15.8%和 15.7%。

此外,不同耕作方式对作物生长和环境的影响具有累积效应,同一耕作方式经过多年保持后更能反映耕作的实际效果^[10],有关不同耕作方式对小杂

粮产量和品质的影响以及对土壤肥力等作用有待进一步研究。

参 考 文 献:

[1] 张胜爱,马吉利,崔爱珍,等.不同耕作方式对冬小麦产量及水分利用状况的影响[J].中国农学通报,2006,22(1):110—113.
[2] 郑华平.保护性耕作措施的综合效应研究及其生态与经济效益评价[D].兰州:甘肃农业大学,2004.
[3] 张海林,高旺盛,陈 阜,等.保护性耕作研究现状、发展趋势及对策[J].中国农业大学学报,2005,10(1):16—20.
[4] 赵廷详.农业保护性耕作与生态环境保护[J].农村牧区机械化,2002,(4):7—8.
[5] 杜 兵,邓 健,李问盈,等.冬小麦保护性耕作法与传统耕作法的田间对比试验[J].中国农业大学学报,2005,5(2):55—58.
[6] 曹连生.保护性耕作增产机理分析[J].农村牧区机械化,2004,(1):7—9.
[7] 林如法,柴 岩,廖 琴,等.中国小杂粮[M].北京:中国农业出版社,2002.
[8] 孙宏勇,刘昌明,张喜英,等.不同行距对冬小麦麦田蒸发、蒸散和产量的影响[J].农业工程学报,2006,22(3):22—26.
[9] 张正斌,山 仑.作物水分利用效率和蒸发蒸腾估算模型的研究进展[J].干旱地区农业研究,1997,15(1):73—78.
[10] 李友军,吴金芝,黄 明,等.不同耕作方式对小麦旗叶光合特性和水分利用效率的影响[J].农业工程学报,2006,12(22):44—48.

Effect of different tillage techniques on yield and water use efficiency in minor grain crops

YAO Ai-hua¹, FENG Bai-li¹, CHAI Yan¹, GAO Jin-feng¹,
LIU Jian-hua², XUE Shao-ping¹, ZHU Rui-xiang¹
(1. Northwest A & F University, Yangling, Shaanxi 712100, China;
2. Hengshan Agro-technical Extending Station, Hengshan, Shaanxi 719101, China)

Abstract: In order to study the effect of different tillage techniques on the yield of adzuki bean and broom corn millet and water use efficiency, a field experiment including three techniques, namely, deep loosening, no-tillage, conventional tillage was conducted in North Shaanxi. The results showed that, no-tillage and deep loosening techniques could improved soil structure and water holding capacity, then increased water use efficiency and yield, so they were ideal tillage techniques.

Key words: conservation tillage; minor corps; water use efficiency

(上接第 85 页)

[20] Farquhar G D, Sharkey T D. Stomatal conductance and photo-synthesis[J]. Ann Rev Plant Physiology, 1982, 33:317—345.

[21] Chazdon R L. Photosynthetic plasticity of two rain forest shrubs across natural gas transect[J]. Oecologia, 1992, 92:586—595.

[22] 李吉跃, Terence J, Blake. 多重干旱循环对苗木气体交换和水分利用效率的影响[J]. 北京林业大学学报, 1999, 21(3): 1—8.

[23] Weng J H. Photosynthesis of different ecotypes of Miscanthus spp. as affected by water stress[J]. Photosynthetica, 1993, 29 (1):43—48.

[24] Heitholt J J. Water use efficiency and dry matter distribution in nitrogen and waters tressed winter wheat [J]. Agron J, 1989, 81:464—469.

[25] Kramer P J. Water relations of plants[M]. New York and London: Academic Press, 1991. 489.

[26] 王美云, 李少昆, 赵明. Relationship between water use efficiency and leaf photosynthesis of maize[J]. 作物学报, 1997, 23 (3):345—352.

Effect of Water micro-collecting planting on corn (*Zea mays* L.) photosynthesis rate and water use efficiency under simulated rainfall conditions

HAN Juan, JIA Zhi-kuan^{*}, REN Xiao-long, HAN Qing-fang, DING Rui-xia
(College of Agronomy, Northwest A & F University, Yangling, Shaanxi 712100, China)

Abstract: Photosynthesis characteristics and water use efficiency(WUE) were studied in different simulated rainfall. The results showed that the photosynthesis rate (P_n) of micro-collecting planting treatments was higher in comparing with the control condition under 230 mm and 340 mm rainfall, increased by 41.1% and 10.5% separately. But there was no significant difference between micro-collecting planting and the control condition under 440 mm. And the WUE of micro-collecting planting treatments in comparing with the control condition was higher under 230 mm、340 mm and 440 mm rainfall, increased by 20.5%, 18.9% and 10.7% separately. The results also showed that the diurnal change curve of P_n was a single peak charact in micro-collecting planting treatments and the control condition. The diurnal change of WUE was a single peak curve under 230 mm and 340 mm rainfall, but was a downward tendency under 440 mm in the control condition. In micro-collecting planting, the diurnal change of WUE was a single peak curve.

Key words: water micro-collecting planting; photosynthesis rate; water use efficiency; summer corn (*Zea mays* L.)