

秸秆还田对宁南旱作农田土壤水分及作物生产力的影响

路文涛^{1,2}, 贾志宽^{1,2*}, 高 飞^{1,2}, 李永平^{1,3}, 侯贤清^{1,2}

(1.西北农林科技大学中国旱区节水农业研究院, 陕西 杨凌 712100; 2.农业部旱地作物生产与生态重点开放实验室, 陕西 杨凌 712100; 3.固原市农业科学研究所, 宁夏 固原 756000)

摘 要:在宁南旱区通过研究秸秆还田对土壤水分及作物生产力的影响,为该区土壤扩蓄增容及作物水分利用效率的提高提供理论依据。在3年秸秆还田定位试验中,设置了不同秸秆还田量处理(谷子秸秆按3 000、6 000、9 000 kg·hm⁻²粉碎还田;玉米秸秆按4 500、9 000、13 500 kg·hm⁻²粉碎还田,对照为秸秆不还田),对不同处理条件下的土壤含水量、作物水分利用效率和作物产量等指标进行了分析。结果表明,随秸秆还田量由高到低,在试验第3年(2009年)玉米播种期0~200 cm土层的土壤贮水量分别较CK提高8.8%、9.9%和6.8%;成熟期0~200 cm土层的土壤贮水量分别较CK提高14.8%、13.9%和12.8%;产量分别较CK显著提高30.7%、29.2%和12.5%($P<0.05$);作物水分利用效率分别较CK显著提高41.1%、35.9%和21.3%($P<0.01$)。在宁南半干旱区采用秸秆还田能较好地保蓄土壤水分,利于土壤水库的扩蓄增容,且对提高作物产量和作物水分利用效率有显著效果。

关键词:秸秆还田;宁南旱区;土壤水分;作物生产力

中图分类号:S181 **文献标志码:**A **文章编号:**1672-2043(2011)01-0093-07

Effects of Straw Returning on Soil Water and Crop Productivity in the Rainfed Area of Southern Ningxia, China

LU Wen-tao^{1,2}, JIA Zhi-kuan^{1,2*}, GAO Fei^{1,2}, LI Yong-ping^{1,3}, HOU Xian-qing^{1,2}

(1.The Chinese Institute of Water-saving Agriculture, Northwest A&F University, Yangling 712100, China; 2.Key Laboratory of Crop Production and Ecology, Minister of Agriculture, Northwest A&F University, Yangling 712100, China; 3.Guyuan Institute of Agricultural Sciences, Guyuan 756000, China)

Abstract: Research on effects of straw returning treatments on soil water and crop productivity was conducted in the semi-arid areas of Southern Ningxia for providing a theoretical basis of expanding soil water storage capacity and improving crop water use efficiency. The different straw returning treatments were 3 000, 6 000, 9 000 kg·hm⁻² of millet straw and 4 500, 9 000, 13 500 kg·hm⁻² of corn straw, the CK had no straw returning. The results of three years field experiment showed that in the third experiment year(2009), follow the amount of straw returning from high to low, compared with CK, soil water storages(depth 0~200 cm) increased 8.8%, 9.9% and 6.8% respectively at the sowing stage of corn; Soil water storages(depth 0~200 cm) increased 14.8%, 13.9% and 12.8% respectively at the maturity stage of corn; Grain yield of corn increased 30.7%, 29.2% and 12.5% ($P<0.05$) respectively; The water use efficiency increased 41.1%, 35.9% and 21.3% ($P<0.01$) respectively. In the semi-arid areas of Southern Ningxia, the use of straw returning technology could play an active role in the preservation of soil moisture, expand soil water storage capacity, and increase crop yield and crop water use efficiency significantly.

Keywords: straw returning; semi-arid areas of Southern Ningxia Province; soil water; crop productivity

土壤水分是植物吸水的最重要供给源,也是土壤的主要组分之一,同时还是土壤表现各种性质和进行

各种物理、化学及生物过程所不可缺少的条件^[1]。农作物产量形成的实质是能量转换和物质积累,是农作物吸收土壤中的养分和水分,通过光合作用将太阳能转化为生物能。在此过程中,土壤水分作为作物产量的主要限制因子之一,对作物发育和产量形成具有很大的影响^[2]。宁南山区处于半干旱区,其土壤质地疏松,抗蚀能力差,雨量少而集中,导致该区旱灾频繁,水土

收稿日期:2010-06-20

基金项目:“十一五”国家科技支撑课题“农田集雨保水关键技术研究”(2006BAD29B03);“节水共性技术研究”(2007BAD88B10)

作者简介:路文涛(1986—),男,河南驻马店人,硕士研究生,主要从事旱地农业研究。E-mail:040111053@163.com

* 通讯作者:贾志宽 E-mail:zhikuan@tom.com

流失严重和土地生产力水平低下^[3-4]。因此,采取适宜的旱作农业技术就显得尤为重要。有研究称,半干旱地区旱地粮食产量低下的主要原因不是降水不足,而是对雨水未能充分地有效利用^[5],提高降水利用效率是旱作技术的关键。

秸秆还田技术是当今世界范畴内改善农田生态环境、发展现代农业、旱作农业的重大措施,是节本增效型农业的重要环节,也是促进绿色食品产业和农业可持续发展的有效手段^[6]。近年来关于秸秆还田的研究报道较多,主要集中在其对土壤物理性状、土壤养分和土壤酶活性等方面,并取得了一些进展^[7-12]。关于秸秆还田对宁南旱区土壤水分变化和作物产量影响的报道较少,相应的技术体系也未形成。为此,于2007—2009年在宁南旱区进行定位试验,通过设置不同的秸秆还田量,研究长期秸秆还田条件下对土壤水分及作物生产力的影响,探索出适宜当地生产和生态的最适秸秆还田量,为该区作物生产及土壤扩蓄增容提供理论依据。

1 材料和方法

1.1 试验地概况

试验于2007—2009年在宁夏回族自治区彭阳县旱地农业试验区进行。该区海拔1 800 m,地貌类型属黄土高原腹部梁峁丘陵地。该地区年平均降水量430 mm左右,降水主要分布在春夏作物生长的后期,与热量条件不协调,大大限制了降水的有效性。降水总量有限且年变率和季节变率大(见表1),分明显的旱季和雨季,其中约70%的降雨集中在7—9月份,多以暴雨为主。试验区属于典型的温带大陆性气候,年平均气温6~8.5℃,日照时数为2 200~2 700 h。境内年蒸发量较大,为650~850 mm,干燥度($\geq 0^\circ\text{C}$ 的蒸发量)为1.21~1.99,无霜期140~160 d。土壤质地为黄绵土。试验地耕层土壤有机质含量10.62 g·kg⁻¹,土壤全氮含量0.96 g·kg⁻¹,土壤速钾含量98 mg·

kg⁻¹,土壤速磷2.49 mg·kg⁻¹,土壤碱解氮含量56.63 mg·kg⁻¹。

1.2 试验设计

秸秆还田量设4个处理,谷子秸秆按3 000 kg·hm⁻²(L)、6 000 kg·hm⁻²(M)、9 000 kg·hm⁻²(H)、0 kg·hm⁻²(CK)粉碎还田;玉米秸秆按4 500 kg·hm⁻²(L)、9 000 kg·hm⁻²(M)、13 500 kg·hm⁻²(H)、0 kg·hm⁻²(CK)粉碎还田。每个处理设3次重复,随机区组排列,小区面积为18 m²。秸秆被粉碎机打碎成5 cm左右的小段,人工均匀翻埋至不同处理小区25 cm左右深度的土层。

2007年按谷子秸秆还田量于播前进行粉碎还田,4月28日试种玉米,品种为沈单16,密度5.25万株·hm⁻²,10月11日收获,玉米收获后按试验设置要求进行玉米秸秆还田;2008年4月28日试种作物为谷子,品种为大同10号,密度30万株·hm⁻²,10月17日收获,收获后按谷子秸秆还田量进行粉碎还田;2009年4月22日种玉米,品种为沈单16,密度5.25万株·hm⁻²,10月13日收获。2007—2009年施肥水平:以鲁西化工生产的磷酸二氨(N $\geq$ 17%,P₂O₅ $\geq$ 45%,K₂O为0)为基肥,播种时一并施入,各处理小区施肥量相同,施用量均为225 kg·hm⁻²,在作物生长期间不进行追肥。

1.3 测定项目与方法

土壤含水量采用烘干法,从供试作物播种前到收获各生育期测定,测定深度0~200 cm,每20 cm一层,供试作物收获时各处理实收计产(kg·hm⁻²)。

土壤贮水量的计算: $W=h \times a \times b \times 10/100$

式中: W 为土壤贮水量,mm; h 为土层深度,cm; a 土壤为容重,g·cm⁻³; b 为土壤含水量,质量%。

土壤耗水量的计算: $ETa=W_1-W_2+P$

式中: ETa 为土壤耗水量,mm; W_1 为播前土壤贮水量,mm; W_2 为收获后土壤贮水量,mm; P 为生育期有效降水量,mm。式中土壤贮水量及耗水量均以2 m土

表1 试验区2007—2009年各月降水量与多年平均月降水量(1970—2009)

Table 1 Monthly rainfall(mm) in 2007—2009 compared with long-term average

项目 Item	1月 Jan.	2月 Feb.	3月 Mar.	4月 Apr.	5月 May	6月 Jun.	7月 Jul.	8月 Aug.	9月 Sept.	10月 Oct.	11月 Nov.	12月 Dec.	年降水量 Annual
2007	4.8	2.9	72.0	2.7	7.4	98.8	35.0	41.7	89.6	67.2	0.9	1.7	424.7
2008	18.1	4.7	4.6	15.5	9.2	35.2	78.0	80.3	117.3	26.5	1.5	0.0	390.9
2009	1.4	14.8	12.1	10.7	33.8	33.1	51.6	123.4	23.2	22.4	5.2	3.5	335.2
多年平均 Average	4.0	3.6	11.6	26.3	49.4	63.1	82.6	82.4	60.3	40.5	5.1	1.5	430.4
变异系数 CV/%	106.1	85.9	125.5	71.6	81.3	53.4	36.4	40.7	55.6	51.7	72.1	85.6	11.1

层含水量计算。

水分利用效率: $WUE = Y/ETa$

式中: WUE 为水分利用效率, $\text{kg} \cdot \text{mm}^{-1} \cdot \text{hm}^{-2}$; Y 为作物籽粒产量, $\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 。

1.4 统计方法

用 DPS6.55 处理软件进行样本方差分析及 Duncan's 新复极差检验。

2 结果与分析

2.1 0~200 cm 土层土壤水分的水平动态变化

连年的秸秆还田对土壤水分的影响较大,但其影响程度不仅与处理年限有关,而且与当年的降水量(主要是生育期降水)及其分配密切相关。由图1可以看出:在秸秆还田第3年降雨量大致呈倒V字形分布的情况下,玉米全生育期各处理的贮水量却呈V字型分布,在播种期和成熟期较高,拔节期和喇叭口期较低。这与玉米的生长发育特点及当地的降水条件有很大关系。经过冬闲期的蓄水保墒,播种期和苗期土壤贮水量较高,在作物生育前期降雨稀少的情况下,对确保苗齐、苗壮具有重要意义。拔节期和喇叭口期为作物需水临界期,随秸秆还田量由高到低,土壤贮水量分别较CK同一时期增加了10.04~26.02 mm、3.83~15.09 mm。吐丝期至成熟期为土壤水分补给期,各处理土壤贮水量均显著增加,秸秆还田处理与CK间的土壤贮水量差异呈现越来越明显的趋势。玉米生育期内,随秸秆还田量由高到低,0~200 cm土层的土壤贮水量分别较CK增加了20.60、13.93、20.42 mm,不同秸秆还田量处理与CK差异显著($P < 0.05$),但各秸秆还田处理间无显著差异。

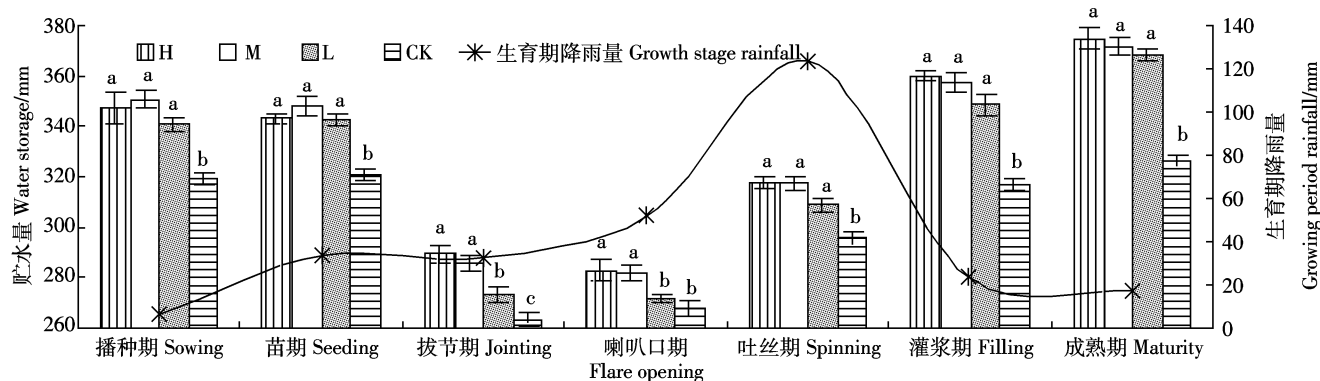
2.2 0~200 cm 土层土壤水分的垂直变化

2.2.1 玉米播种-喇叭口阶段

图2显示的是2009年春玉米播种-喇叭口阶段0~200 cm土层的水分动态变化。此阶段以春玉米的营养生长阶段为主,气温回升快,空气干燥,土壤蒸发强,植株根系较弱,耗水相对较少,植株所需水分主要靠浅层土壤来提供。所以中上层土壤蓄水对于促进玉米营养生长具有重要的作用。播前土壤水分呈现中层土壤含水量高于表层和底层的现象。随秸秆还田量由高到低,其0~200 cm土层的土壤平均含水量分别较CK显著提高11.9%、11.7%、8.2% ($P < 0.05$),但各秸秆还田处理间无显著差异。苗期0~200 cm土层土壤平均含水量分别较CK显著提高10.0%、10.2%、8.2% ($P < 0.05$);拔节期0~200 cm土层土壤平均含水量分别较CK提高13.2%、10.3%、5.4%;喇叭口期0~200 cm土层土壤平均含水量分别较CK提高8.7%、6.9%、2.9%,H、M处理和CK间差异显著($P < 0.05$)。从播前至喇叭口期,各处理0~60 cm土层土壤平均含水量减少43%~45.4%,60~120 cm土层土壤平均含水量仅减少10.4%~15.5%,底层水分变化较小。

2.2.2 玉米吐丝-成熟阶段

图3显示的是2009年春玉米吐丝-成熟阶段0~200 cm土层土壤水分的动态变化。本阶段进入当地雨季,也是高温季节,玉米处于灌浆阶段,生殖生长旺盛,耗水强度较大。随秸秆还田量由高到低,吐丝期0~200 cm土层土壤平均含水量分别较CK提高10.6%、9.3%、5.9%,H、M处理和CK间差异显著($P < 0.05$);灌浆期0~200 cm土层土壤平均含水量分别较CK显著提高17.0%、14.8%、11.6% ($P < 0.05$);成熟期



注:不同小写字母间差异显著($P < 0.05$). Note: different small letters indicate significant difference at 0.05 level.

图1 玉米全生育期不同秸秆还田量处理下0~200 cm 土层土壤贮水量变化(2009.04.22—2009.10.13)

Figure 1 Water storage of 0~200 cm soil in the whole growing period of corn under different straw returning treatments(2009.04.22—2009.10.13)

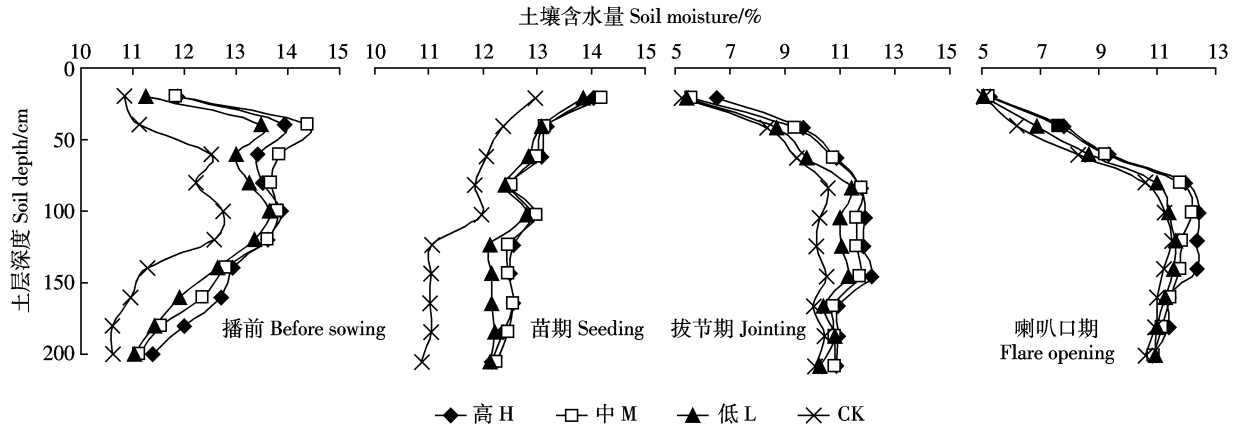


图 2 玉米播种-喇叭口阶段不同处理土壤水分动态变化

Figure 2 Dynamic changes of soil moisture in the corn field during sowing from flare opening period

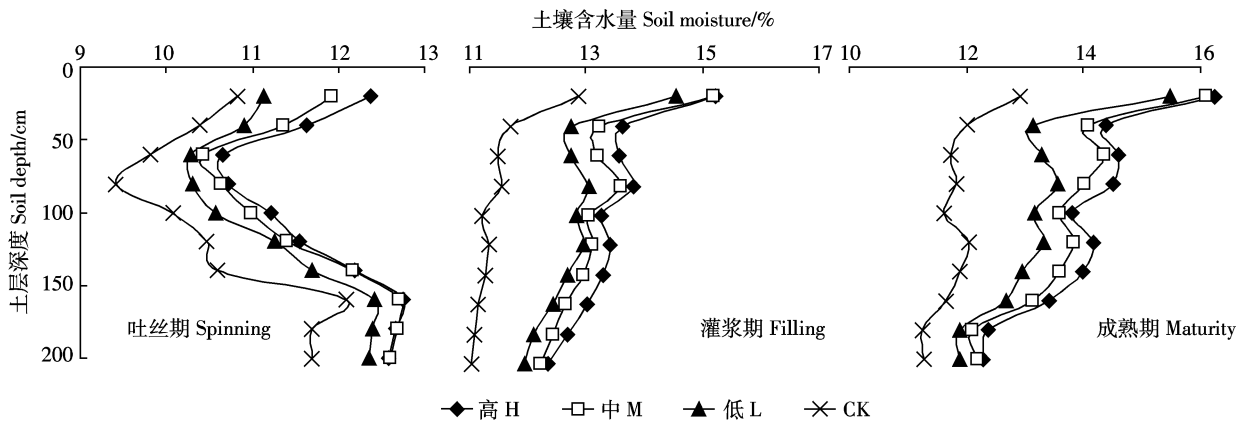


图 3 玉米吐丝-成熟阶段不同处理土壤水分动态变化

Figure 3 Dynamic changes of soil moisture in the corn field during spinning from maturity period

0~200 cm 土层土壤平均含水量分别较 CK 显著提高 18.2%、15.9%、11.1% ($P<0.05$)。从吐丝期到成熟期,各处理 0~40 cm 土层土壤平均含水量增加 17.6%~29.7%, 40~120 cm 土层土壤平均含水量增加 18.7%~29.3%, 120~200 cm 土层土壤平均含水量基本没有变化。

2.3 不同秸秆还田量的作物产量效应及降水利用情况

水分利用效率是研究作物产量、蒸腾耗水和地表蒸发之间相互消长关系的具体表现^[13]。降雨是本地区土壤水分的主要来源,若不考虑地表径流,则时段水分平衡要素包括土层贮水量变化、降水量、蒸发量和渗透量(通常认为 0),通过土壤水分平衡计算,对作物水分利用效率进行研究,可以了解不同处理对土壤水分的利用状况。

由表 2 看出,在 3 年试验期经过秸秆还田处理的作物产量表现比较稳定,而且始终高于 CK。其中在降水相对较多的 2007 年和 2008 年, M 处理的产量表现较好;在干旱的 2009 年, H 处理的产量表现较好。随

着秸秆还田量由高到低, 2007 年玉米产量较 CK 分别提高 18.1%、18.9% 和 14.8%, 作物水分利用效率较 CK 提高 18.0%、21.8% 和 19.9%, 差异极显著 ($P<0.01$); 2008 年谷子产量较 CK 提高 13.7%、20.0% 和 3.7%, 作物水分利用效率较 CK 提高 16.4%、24.0% 和 3.0%, 差异显著 ($P<0.05$); 2009 年玉米产量较 CK 提高 30.7%、29.2% 和 12.5%, 差异显著 ($P<0.05$), 作物水分利用效率较 CK 提高 41.1%、35.9% 和 21.3%, 差异极显著 ($P<0.01$)。从秸秆还田 3 a 来的平均效应来看, H 处理和 M 处理在产量和水分利用效率方面均较 CK 表现出极显著差异 ($P<0.01$), 但它们之间的差异不显著。

3 讨论

本研究认为, 秸秆还田处理能显著提高玉米各生育时期的土壤含水量: 生育前期秸秆腐解程度较低, 相当于在土壤表层覆盖了一层秸秆, 此阶段降水较少, 空气干燥, 蒸发量大, 可以通过还田秸秆的覆盖保

表 2 不同秸秆还田量处理对作物产量及对水分利用效率的影响

Table 2 Effect on crop yield and WUE under different straw returning treatments

年份 Years	处理 Treatment	产量 Grain yield/ kg·hm ⁻²	ETa Water Consumption/mm	WUE/ kg·mm ⁻¹ ·hm ⁻²	生育期降水量 Growth stage rainfall/mm	降水生产效率 Precipitation productive efficiency/kg·mm ⁻¹ ·hm ⁻²
2007(玉米)	H	6352±22aA	312.03±3.57aA	20.36±0.16cB	323.1	19.66 ±0.32bB
	M	6396±15aA	304.34±4.36bB	21.02±0.44aA	323.1	19.80±0.21aA
	L	6172±19bB	298.37±2.54cC	20.69±0.48bAB	323.1	19.10±0.35cC
	CK	5377±13cC	311.71±3.81aA	17.25±0.41dC	323.1	16.64±0.18dD
2008(谷子)	H	2321±9bB	292.07±2.08aA	7.95±0.32bB	345.4	6.72 ±0.33bB
	M	2450±11aA	289.35±2.42aA	8.47±0.54aA	345.4	7.09 ±0.12aA
	L	2117±5cC	301.05±1.98aA	7.03±0.52cC	345.4	6.13±0.27cC
	CK	2042±7dC	299.11±3.72aA	6.83±0.18dC	345.4	5.91±0.26dC
2009(玉米)	H	4744±19aA	261.31±4.33bB	18.16±0.38aA	289.1	16.41±0.19aA
	M	4688±23aA	267.98±3.94bB	17.49±0.64bB	289.1	16.22±0.24aA
	L	4083±15bB	261.49±1.79bB	15.61±0.37cC	289.1	14.12±0.18bB
	CK	3629±13cC	281.91±4.11aA	12.87±0.16dD	289.1	12.55±0.15cC
3 a 平均	H	4473±13aA	288.47±3.32bB	15.49±0.19aA	319.2	14.26±0.21aA
	M	4511±17aA	287.23±3.57bB	15.66±0.16aA	319.2	14.37±0.16aA
	L	4124±12bB	286.97±2.10bB	14.44±0.25aAB	319.2	13.12±0.17abA
	CK	3682±11cC	297.58±3.88aA	12.32±0.28bB	319.2	11.7±0.250bA

注:各列不同大写字母间差异极显著($P<0.01$),不同小写字母间差异显著($P<0.05$).

Note: Different capital letters in the same column indicate significant differences at 0.01 level and different small letters indicate significant differences at 0.05 level.

墒作用^[14],减少表层水分蒸发,保蓄土壤水分;又可以在生育后期降水较多时通过秸秆还田的扩蓄增容作用^[15],提高其 0~200 cm 土层的土壤平均含水量。秸秆还田的保墒贮水效果因还田量的多少而异,在春玉米各生育时期 H 和 M 处理较 L 和 CK 处理都表现出较强的保墒贮水优势。这是因为适量的秸秆还田可以更新和增加土壤有机质,改良土壤结构,促进土壤微粒的团聚作用,改善通气与水分的渗透性和保水能力^[16]。

也有研究认为,秸秆还田对土壤水分性状的影响具有双重性^[17],初期秸秆腐解过程中消耗了大量水分,产生与作物争夺水分的现象;腐解过程结束后,秸秆还田的保墒贮水能力增强,有利于改善土壤水分状况和增加土壤贮水量。显然,秸秆粉碎还田后,需要一段时间进行秸秆腐解,在不同的土壤条件和气候条件下,秸秆进行腐解的时间长短不同。在本研究中,已进行了 3 年的秸秆还田定位试验,大部分还田秸秆已经得到完全腐解,因而改善了土壤的水分状况。

前人关于秸秆还田对作物产量的影响进行了大量的研究,大部分研究认为秸秆还田可以提高作物产量^[18-20],也有减产的报道。减产的原因可能是秸秆的单独还田导致土壤碳氮比失衡^[21],或者是耕作方式不当或播种质量差导致出苗质量下降^[22]。本研究历时 3 年

的秸秆还田定位试验表明,秸秆还田处理较 CK 均能提高土壤水分利用效率和增加作物产量;在较为干旱的 2009 年,秸秆还田处理的增产保墒效应更为明显:随秸秆还田量由高到低,玉米产量分别较 CK 增加了 30.7%、29.2%和 12.5%,作物水分利用效率分别较 CK 提高了 41.1%、35.9%和 21.3%。这可能是因为秸秆还田处理在提高土壤含水量的同时改善了土壤微生物环境,使得土壤微生物数量增加,土壤酶活性增强,土壤矿质养分和土壤有机质养分的分解利用加快,这样就保证了春玉米生长发育所需养分的供应,使得作物产量增加和作物水分利用效率提高。

在同一施肥水平下,2007 年和 2008 年 M 处理的产量为最高,而在 2009 年 H 处理的产量却大于 M 处理。其原因可能为:2007 年和 2008 年,秸秆还田的保墒贮水优势还没有充分显现,水分状况制约着秸秆的腐解程度,在前期秸秆腐解较慢的情况下,过量的还田秸秆不仅不能为作物提供足够的氮素营养反而会固定土壤中的部分矿质态氮^[1],与此同时土壤中还存在着微生物和作物对氮素吸收利用的竞争作用^[23-24]。在秸秆过量还田时,这些因素就极易导致土壤碳氮比失调,从而降低作物产量。随着处理年限的延长,秸秆还田的保墒贮水效果越来越好,相对良好的水分条件

为秸秆腐解提高了保障。在2009年,H处理为土壤提供了更多的氮素营养,增产效应得以体现。这与洪春来等^[25]认为,短期内半量秸秆还田对作物的增产效果明显,但从长远还田周期看,全量秸秆还田对作物增产更有优势的研究结果大致相同。

4 结论

本研究结果表明,在宁南旱区长期实施秸秆还田措施,可显著改善土壤水分环境,增强土壤水库的扩蓄增容能力,显著提高作物产量和作物水分利用效率。

还田秸秆的腐解效果受多种因素的综合制约,在目前研究的基础上,本试验区的最适秸秆还田量为 $9\,000\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 左右。不同处理措施对作物的生长和环境的影响具有累积效应,同一处理经过多年保持后更能反映它的实际效果,秸秆还田措施的综合效应,有待于更加深入长期的研究。总之,在宁南旱区实施秸秆还田的保护性农业措施,既有利于增强作物对有限降水的高效利用,提高作物产量,也可以改善农田生态系统循环,减少水土流失,保护生态环境,促进当地农业的可持续发展。

参考文献:

- [1] 陆欣. 土壤肥料学[M]. 北京:中国农业大学出版社, 2002: 82-293.
LU Xin. Soil fertilizer science[M]. Beijing: China Agriculture University Press, 2002: 82-293.
- [2] 余峰, 董立国, 赵庆丰. 宁夏半干旱地区梯田土壤水分动态变化规律研究[J]. 水土保持研究, 2007, 14(1): 298-304.
YU Feng, DONG Li-guo, ZHAO Qing-feng. Soil moisture content change research for terraced fields in ningxia semi-arid area[J]. *Research of Soil and Water Conservation*, 2007, 14(1): 298-304.
- [3] Castro Filho C, Henklain J C, Vieira M J, et al. Tillage methods and soil and water conservation in southern Brazil[J]. *Soil & Tillage Research*, 1991, 20(2-4): 271-283.
- [4] 高旺盛. 粮食安全与农作制度建设[M]. 长沙:湖南科技出版社, 2004: 188-200.
GAO Wang-sheng. Food security and farming systems development[M]. Changsha: Hunan Science and Technology Press, 2004: 188-200.
- [5] 黄占斌. 雨水利用与水土保持和农业持续发展[J]. 水土保持通报, 1997(1): 54-56.
HUANG Zhan-bin. Action of rainwater use on soil and water conservation and agriculture sustainable development[J]. *Bulletin of Soil and Water Conservation*, 1997(1): 54-56.
- [6] 韩永俊, 尹大庆, 赵艳忠. 秸秆还田的研究现状[J]. 农机化研究, 2003(2): 39-40.
HAN Yong-jun, YIN Da-qing, ZHAO Yan-zhong. The present situation of the researching of straw turnover[J]. *Journal of Agricultural Mechanization Research*, 2003(2): 39-40.
- [7] 郑伟, 张静, 刘阳, 等. 低施肥条件下秸秆还田对冬小麦旗叶衰老的影响[J]. 生态学报, 2009, 29(9): 4967-4975.
ZHENG Wei, ZHANG Jing, LIU Yang, et al. Physiological effects of ploughing corn straw under soil on flag-leaf resistance of winter wheat under lowly applying fertilizer condition[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2009, 29(9): 4967-4975.
- [8] 武志杰, 张海军, 许广山, 等. 玉米秸秆还田培肥土壤的效果[J]. 应用生态学报, 2002, 13(5): 539-542.
WU Zhi-jie, ZHANG Hai-jun, XU Guang-shan, et al. Effect of returning corn straw into soil on soil fertility[J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2002, 13(5): 539-542.
- [9] 田慎重, 宁堂原, 王瑜, 等. 不同耕作方式和秸秆还田对麦田土壤有机碳含量的影响[J]. 应用生态学报, 2010, 21(2): 373-378.
TIAN Shen-zhong, NING Tang-yuan, WANG Yu, et al. Effects of different tillage methods and straw-returning on soil organic carbon content in a winter wheat field[J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2010, 21(2): 373-378.
- [10] Kapkaiy J J, Karanja N K, Qureshi J N, et al. Soil organic matter and nutrient dynamics in a Kenyan nifisol under long-term fertilizer and organic input management[J]. *Soil Biol Biochem*, 1999, 31: 1773-1782.
- [11] 刘建国, 卞新民, 李彦斌, 等. 长期连作和秸秆还田对棉田土壤生物活性的影响[J]. 应用生态学报, 2008, 19(5): 1027-1032.
LIU Jian-guo, BIAN Xin-min, LI Yan-bin, et al. Effects of long-term continuous cropping of cotton and returning cotton stalk into field on soil biological activities[J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2008, 19(5): 1027-1032.
- [12] 谭周进, 李倩, 陈冬林, 等. 稻草还田对晚稻土微生物及酶活性的影响[J]. 生态学报, 2006, 26(10): 3385-3392.
TAN Zhou-jin, LI Qian, CHEN Dong-lin, et al. On the effect of rice-straw returned to the field on microbes and enzyme activity in paddy soil[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2006, 26(10): 3385-3392.
- [13] 董竹蔚, 高克昌, 石秀清. 旱地玉米及高粱免耕整株秸秆覆盖蓄水肥田增产效应[M]//中国耕作制度研究会编著. 中国少免耕与覆盖技术研究. 北京:北京科学技术出版社, 1991: 66-70.
DONG Zhu-wei, GAO Ke-chang, SHI Xiu-qing. Increase production effects on maize and sorghum by no-tillage and straw mulched in dry-land[M]//China Farming System Institute ed. Study on no-tillage and mulched of China. Beijing: Beijing Scientific & Technological Press, 1991: 66-70.
- [14] 李玲玲, 黄高宝, 张仁陟, 等. 不同保护性耕作措施对旱作农田土壤水分的影响[J]. 生态学报, 2005, 25(9): 2327-2332.
LI Ling-ling, HUANG Gao-bao, ZHANG Ren-zhi, et al. Effects of conservation tillage on soil water regimes in rainfed areas[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2005, 25(9): 2327-2332.
- [15] 吕美蓉, 李增嘉, 张涛, 等. 少免耕与秸秆还田对极端土壤水分及冬小麦产量的影响[J]. 农业工程学报, 2010, 26(1): 41-44.
LV Mei-rong, LI Zeng-jia, ZHANG Tao, et al. Effects of minimum or no-tillage system and straw returning on extreme soil moisture and yield of winter wheat[J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2010, 26(1): 41-44.
- [16] 陈恩凤, 周礼恺, 武冠云. 微团聚体的保肥供肥性能及其组成比例

- 在评断土壤肥力水平中的意义[J]. 土壤学报, 1994, 31(1):18-28.
- CHEN En-feng, ZHOU Li-kai, WU Guan-yun. Performances of soil microaggregates instoring and supplying moisture and nutrients and role of their compo-sitional proportion in judging fertility level[J]. *Acta Pedologica Sinica*, 1994, 31(1):18-28.
- [17] 吴 菲. 玉米秸秆连续多年还田对土壤理化性状和作物生长的影响[D]. 北京: 中国农业大学, 2005.
- WU Fei. Effects of maize straw incorporation for successive years on soil physical-chemical properties and crop growth[D]. Beijing: China Agriculture University, 2005.
- [18] 劳秀荣, 孙伟红, 王 真, 等. 秸秆还田与化肥配合施用对土壤肥力的影响[J]. 土壤学报, 2003, 40(4):618-622.
- LAO Xiu-rong, SUN Wei-hong, WANG Zhen, et al. Effect of matching use of straw and chemical fertilizer on soil fertility[J]. *Acta Pedologica Sinica*, 2003, 40(4):618-622.
- [19] 刘义国, 林 琪, 王月福. 秸秆还田与氮肥耦合对冬小麦光合特性及产量形成的影响[J]. 中国生态农业学报, 2007, 15(1):42-44.
- LIU Yi-guo, LIN Qi, WANG Yue-fu. Effects of coupling of straw-return and nitrogen fertilizer on photosynthetic characters and yield of winter wheat[J]. *Chinese Journal of Eco-Agriculture*, 2007, 15(1):42-44.
- [20] 赵 鹏, 陈 阜, 马新明, 等. 麦玉两熟秸秆还田对作物产量和农田氮素平衡的影响[J]. 干旱地区农业研究, 2010, 28(2):162-166.
- ZHAO Peng, CHEN Fu, MA Xin-ming, et al. Effects of integrated straw on crop yield and nitrogen balance in winter wheat & summer maize[J]. *Agricultural Research in the Arid Areas*, 2010, 28(2):162-166.
- [21] 刘巽浩, 高旺盛, 朱文姗. 秸秆还田机理与技术模式[M]. 北京: 中国农业出版社, 2001:14-15.
- LIU Xun-hao, GAO Wang-sheng, ZHU Wen-shan. Straw returning mechanism and technology models[M]. Beijing: China Agriculture Press, 2001:14-15.
- [22] 李少昆, 王克如, 冯聚凯, 等. 玉米秸秆还田与不同耕作方式下影响小麦出苗的因素[J]. 作物学报, 2009, 32(3):463-465.
- LI Shao-kun, WANG Ke-ru, FENG Ju-kai, et al. Factors affecting seeding emergence in winter wheat under different tillage patterns with maize stalk mulching returned to the field[J]. *Acta Agronomica Sinica*, 2009, 32(3):463-465.
- [23] 王晓娟, 贾志宽, 梁连友, 等. 旱地有机培肥对玉米产量和水分利用效率的影响[J]. 西北农业学报, 2009, 18(2):93-97.
- WANG Xiao-juan, JIA Zhi-kuan, LIANG Lian-you, et al. Effects of organic fertilizer on grain yield and water use efficiency of spring maize in dry land[J]. *Acta Agriculturae Boreali-Occidentalis Sinica*, 2009, 18(2):93-97.
- [24] 赵 鹏, 陈 阜. 秸秆还田配施化学氮肥对冬小麦氮效率和产量的影响[J]. 作物学报, 2008, 34(6):1014-1018.
- ZHAO Peng, CHEN Fu. Effects of straw mulching plus nitrogen fertilizer on nitrogen efficiency and grain yield in winter wheat[J]. *Acta Agronomica Sinica*, 2008, 34(6):1014-1018.
- [25] 洪春来, 魏幼璋, 黄锦法, 等. 秸秆全量直接还田对土壤肥力及农田生态环境的影响研究[J]. 浙江大学学报, 2003, 29(6):627-633.
- HONG Chun-lai, WEI You-zhang, HUANG Jin-fa, et al. Effects of total crop straw return on soil fertility and field ecological environment[J]. *Journal of Zhejiang University(Agric & Life Sci)*, 2003, 29(6):627-633.