

DOI:10.13869/j.cnki.rswc.2024.02.005.

赵玉坤, 马爱平, 靖华, 等. 夏闲期玉米压青对旱地麦田土壤水分周年变化的影响[J]. 水土保持研究, 2024, 31(2): 60-67.

Zhao Yukun, Ma Aiping, Jing Hua, et al. Effects of Maize Green Manure Returning Treatment in Summer Fallow Period on Annual Soil Moisture Variation in Dryland Wheat Field[J]. Research of Soil and Water Conservation, 2024, 31(2): 60-67.

夏闲期玉米压青对旱地麦田土壤水分周年变化的影响

赵玉坤¹, 马爱平¹, 靖华¹, 亢秀丽¹, 崔欢虎¹, 席吉龙², 黄学芳³

(1.山西农业大学 小麦研究所, 山西 临汾 041000; 2.山西农业大学 棉花研究所,
山西 运城 044000; 3.山西农业大学 山西有机旱作农业研究院, 太原 030006)

摘 要: [目的]揭示旱地麦田土壤水分对夏闲期玉米压青的周年适应变化规律, 阐明压青模式对小麦产量提高及优化的水分驱动机制, 为旱作压青蓄水技术提供理论参考。 [方法]通过晋南旱地麦田夏闲期玉米压青还田试验, 采用大区对比方法, 以夏闲期免耕处理为对照, 研究夏闲期玉米压青模式下麦田土壤周年贮水耗水变化规律, 分析了其对后茬小麦产量的影响及水分利用效率。 [结果]与免耕模式相比, 夏闲期玉米压青处理可显著提高 0—200 cm 土壤周年贮水量, 且对 100—200 cm 较深层土壤的蓄水能力更强; 玉米压青处理 0—200 cm 土壤周年耗水量及耗水百分比均显著低于免耕处理; 与免耕相比, 压青处理可提高夏闲期 0—200 cm 土层盈水量, 减少小麦季 0—100 cm 浅土层的水分耗散量; 压青处理小麦穗数、穗粒数显著高于免耕, 而千粒重差异较小; 压青处理夏闲期 0—200 cm 土壤对降雨的蓄水效率显著高于免耕; 在夏闲期玉米压青还田生物量显著高于免耕处理条件下, 小麦季和周年阶段, 压青处理生物产量及籽粒产量的降水、水分利用效率均显著高于免耕处理。 [结论]在旱地麦田丰水年份, 夏闲期玉米压青可显著提高旱地麦田土壤贮水, 降低作物周年耗水量, 优化小麦产量三要素, 蓄水增产。

关键词: 夏闲期; 压青; 土壤水分; 周年

中图分类号: S142⁺.3; S152.7

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2024)02-0060-08

Effects of Maize Green Manure Returning Treatment in Summer Fallow Period on Annual Soil Moisture Variation in Dryland Wheat Field

Zhao Yukun¹, Ma Aiping¹, Jing Hua¹, Kang Xiuli¹, Cui Huanhu¹, Xi Jilong², Huang Xuefang³

(1. *Wheat Research Institute, Shanxi Agricultural University, Linfen, Shanxi 041000, China*; 2. *Cotton Research Institute, Shanxi Agricultural University, Yuncheng, Shanxi 044000, China*; 3. *Organic Dry Farming Research Institute, Shanxi Agricultural University, Taiyuan 030006, China*)

Abstract: [Objective] The aims of this study are to reveal the annual adaptive change pattern of soil moisture in dryland wheat fields in response to maize manure returning in summer fallow period, to elucidate water-driven mechanisms for wheat yield improvement and optimization by maize manure returning patterns, and to provide the theoretical references for dry farming water storage technology. [Methods] Trials of maize manure returning in summer fallow period were carried out in southern Shanxi dryland wheat fields, which adopted a regional comparison method. The no-tillage treatment during the summer fallow period was used as a control. The annual wheat field's soil water storage and consumption variation rules under summer fallow period maize manure returning were studied. Its effects on yield of succeeding wheat and efficiency of water use were also analyzed in this experiment. [Results] Compared to the no-tillage treatment, the treatment of

收稿日期: 2023-05-12

修回日期: 2023-05-29

资助项目: 国家重点研发计划项目(2021YFD1901102-4); 山西农业大学省部共建有机旱作农业国家重点实验室自主研发项目(202001-6); 国家农业环境尧都试验站(NAES-AE-016); 山西农业大学特优农业高质量发展科技支撑工程项目(TYGC23-21)

第一作者: 赵玉坤(1984—), 男, 山西稷山人, 硕士, 副研究员, 主要从事气候变化与有机旱作农业研究。E-mail: tykzhao@163.com

通信作者: 马爱平(1966—), 女, 山西汾西人, 学士, 研究员, 主要从事气候变化与有机旱作农业研究。E-mail: mapinglflf@163.com

席吉龙(1963—), 男, 山西新绛人, 学士, 副研究员, 主要从事作物抗逆生理栽培及调控研究。E-mail: shxjl1963@163.com

<http://stbcyj.paperonce.org>

maize manure returning in summer fallow period could significantly increase 0—200 cm soil annual water storage amounts, which also had a better soil water storage capacity in deeper layer. The amounts of 0—200 cm soil moisture consumption and water consumption percentage of maize manure returning treatment were significantly lower than those of no-tillage treatment. The manure returning treatment could improve 0—200 cm soil surplus water amounts during summer fallow period, and reduced 0—100 cm shallow soil layer's water dissipation amounts compared with no-tillage pattern. The wheat spike number and kernels per spike of manure returning treatment were significantly higher than those of no-tillage pattern, but the difference of thousand-grain weight between two treatments was not significant. The efficiency of 0—200 cm soil layer water storage for rainfall under manure returning treatment was significantly higher than that of no-tillage pattern in summer fallow period. The returning field biomass in maize manure returning treatment was significantly greater than that of no-tillage pattern in summer fallow period. The biological yield's precipitation and water use efficiency of maize manure returning treatment were significantly higher than those of no-tillage pattern in wheat season and anniversary stage. The same variation trend was observed in grain yield's precipitation and water use efficiency. [Conclusion] In dryland wheat field humid years, the summer fallow period maize manure returning treatment could significantly improve soil water storage amounts of dryland wheat field, which also reduced crops annual water consumption and optimized the three elements of wheat yield. Finally, the maize green manure returning pattern will increase wheat yield by more soil impoundage.

Keywords: summer fallow period; manure returning; soil moisture; annual period

随着农业集约化快速发展,过量施用化肥导致的土壤酸化板结问题愈发严重^[1-2]。绿肥压青是土壤调控改良的一种重要途径^[3-5],绿肥作物通过压青还田,可有效减少化肥和农药的施用^[6],提高土壤有机质含量^[7],增加碳、氮等养分供应^[8],改良土壤结构和微生物环境^[9-10],保土蓄水^[11-12],进而培肥土壤和提高耕地质量。

山西省地处黄土高原东部,受高温少雨等气候条件制约,大部分旱作麦区耕作制度均是一年一熟单作制。旱地麦田降水资源时空分布严重不均,其中夏季休闲期(6—9月)降水量占整个年度降水量的70%~80%,且较大部分地表水由于高温蒸发而耗散,不能为下茬小麦生长所用。旱地麦田夏闲期种植绿肥作物,可充分利用该阶段的光热水资源,且绿肥植株粉碎翻压还田后,直接向土壤输入外源有机质,提高土壤有机碳储量^[13],促进团聚体形成^[14-15],进而改善土壤微环境,培肥地力,为土质改良及下茬作物高产奠定坚实基础。

关于绿肥压青研究较多集中在豆科作物压青后土壤微生态环境改善^[16-18]、微生物多样性变化^[19-21]及对后茬作物产量效应等^[22-24]方面,而针对非豆科高光效C₄作物玉米压青及土壤周年水分动态变化特征等方面缺乏系统而深入的科学研究。因此,本研究通过在晋南旱地麦田夏闲期种植玉米压青还田试验,结合免耕模式下的土壤水分变化规律,分析夏闲期玉米

压青模式下土壤周年贮水耗水动态、水分利用效率及对后茬小麦产量的影响,以期旱作麦区压青培肥扩蓄增容技术提供理论参考。

1 材料与方法

1.1 试验地概况

试验于2021—2022年在山西农业大学小麦研究所韩村试验基地进行。试验地点位于临汾市尧都区(36°8′43″N, 111°34′36″E),海拔459 m,属温带大陆性半干旱气候,年日照时数2 400 h,年降水量452 mm,平均气温13.08℃,≥0℃积温4 965.6℃。试验地土壤类型为中壤石灰性褐土,压青试验开始前耕层土壤基础肥力指标为:有机质含量16.35 g/kg,全氮1.12 g/kg,碱解氮42.80 mg/kg,有效磷6.56 mg/kg,速效钾123.90 mg/kg。

2021年度夏季休闲期(上茬小麦收获后至下茬小麦播前,6—10月)降水量为782.8 mm,10月初小麦播前有一次强降雨过程,雨量大,持续时间长,使降水量较常年(295.9 mm)多486.9 mm,小麦生长季(10月—次年6月)降水量为117.6 mm,较常年(161.6 mm)少44 mm。

1.2 试验材料与设计

试验夏闲期压青玉米品种为KWS9384(早熟品种,由新疆康地种业科技股份有限公司选育),后茬小麦品种为运旱115(山西农业大学棉花研究所选育)。

试验处理分免耕和压青两组,采用大区对比方法,每处理小区面积 700 m²(宽 10 m,长 70 m),不设重复。夏闲期:免耕灭茬于 2021 年 6 月 9 日进行;压青玉米于 2021 年 6 月 10 日前茬小麦收获后播种,为保证玉米出苗率,播种后在试验小区铺设微喷带模拟人工降雨 20 mm,待玉米出苗后将微喷带收回。玉米种植密度为 75 000 株/hm²,株距 22 cm,行距 60 cm,于 2021 年 8 月 10 日机械粉碎、压青还田。小麦季:两组处理均于 2021 年 10 月 21 日播种小麦,每公顷施专用复合肥(N:P:K=25:15:5)600 kg,播种量 225 kg/hm²,行距 20 cm,小麦季不浇水和追肥,田间除草统一进行,2022 年 6 月 8 日收获。

1.3 测定项目与方法

1.3.1 土壤取样 免耕和玉米压青两组处理小区均采用“W”五点法取土样,分别在 2021 年 6 月 9 日(前茬小麦收获时)、7 月 24 日(夏闲早期)、8 月 10 日(夏闲中期,玉米压青前)、10 月 20 日(夏闲末期、后茬小麦播前)、2022 年 3 月 31 日(小麦拔节期)、6 月 8 日(小麦收获前)6 个时期用土钻取 0—200 cm 土样(每 20 cm 为一土层),采用铝盒烘干法测定每层土壤含水量。

1.3.2 土壤贮水量 土壤含水量(WC,%)和土壤贮水量(SWS,mm)计算参见以下公式:

$$WC = [(W_1 - W_2) / (W_2 - W_3)] \times 100\% \quad (1)$$

$$SWS = \frac{1}{10} \sum_{i=1}^n D_i \times H_i \times W_i \quad (2)$$

式中:W₁为铝盒与湿土质量之和(g);W₂为烘干后铝盒与干土质量之和(g);W₃为铝盒质量(g);D_i为土壤容重(g/cm³);H_i为土层厚度(cm);W_i为土壤质量含水量(%);n为土层数量。

1.3.3 耗水量 作物耗水量(CWC,mm)采用水量平衡法计算,本试验小区地势平坦,地下水平均埋深 19.9 m,可忽略径流和地下水补给,采用以下公式计算。土壤耗水量(SWC,mm)和土壤盈水量(SSW,mm)计算公式分别为:

$$CWC = \Delta W + P \quad (3)$$

$$SWC = W_a - W_b \quad (4)$$

$$SSW = W_b - W_a \quad (5)$$

式中:ΔW 为生育期始末 0—200cm 土层贮水量差值(mm);P 为生育期降水量(mm);W_a为阶段初始土壤贮水量(mm);W_b为阶段终止土壤贮水量(mm)。

1.3.4 生物产量与籽粒产量 夏闲中期玉米压青前(2021 年 8 月 10 日),选取玉米连续 2 行计 20 株取样(包含地下部分),3 次重复,每重复折合面积 2.64

m²(株距 22 cm,行距 60 cm)测定鲜重(kg)、干重(80℃烘干至恒重,kg)。免耕小区选取有代表性的样段 3 m²(长 1 m×宽 3 m)内所有杂草取样(包含地下部分),3 次重复,测定鲜重(kg)、干重(方法同上,kg)。分别统计玉米压青和免耕处理的夏闲期生物产量。

小麦收获时取 5 行、长 3 m 的小区(3 m²),3 次重复,收获全部植株(包含地下部分),完全晒干后脱粒,收集秸秆、根部和穗颖壳,分别称重,统计籽粒产量和植株生物量,按面积折算成 hm²产量。

1.3.5 水分利用效率 水分利用效率[WUE, kg/(hm²·mm)]、降水利用效率[PUE, kg/(hm²·mm)]和土壤蓄水效率(WSE,%)计算参见以下公式:

$$WUE = Y / (\Delta W + P) \quad (6)$$

$$PUE = Y / P \quad (7)$$

$$WSE = (W_b - W_a) / P \quad (8)$$

式中:Y 为作物产量(kg/hm²);ΔW 为生育期始末 0—200 cm 土层贮水量差值(mm);P 为生育期降水量(mm);W_a为阶段初始土壤贮水量(mm);W_b为阶段终止土壤贮水量(mm)。

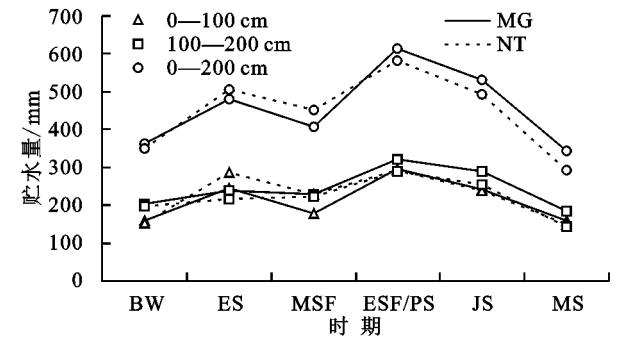
1.4 数据分析

周年生育期按夏闲期、小麦季两个阶段分析。数据采用 Excel 2013 和 SPSS 24.0 软件进行统计分析,两组处理间各土层贮水量显著性检验采用配对双尾 T 检验,其余阶段耗水量、产量、效率等指标显著性检验采用方差分析方法。

2 结果与分析

2.1 夏闲期玉米压青对旱地麦田各土层周年贮水量变化的影响

夏闲期玉米压青(MG)和免耕(NT)处理 0—200 cm 土壤周年贮水量随生育期呈“M”型变化趋势(图 1),在夏闲末期(小麦播前)达到峰值。与免耕处理相比,玉米压青 0—200 cm 土层贮水量在夏闲早、中期均低于免耕,而在小麦季玉米压青处理贮水量又高于免耕,说明在旱地麦田降水量较平均年多(丰水年,920.40 mm,其中 50%以上集中在夏闲末期阶段)的情况下,玉米压青处理虽然在夏闲期消耗较多的降水,但作为绿肥压青还田后可在小麦季为小麦生长提供更多的水分,为后期高产奠定基础。0—100 cm 土层贮水量,玉米压青和免耕处理在夏闲末期之前,与 0—200 cm 土层贮水量变化趋势一致,而在小麦季两者差异较小。100—200 cm 土层贮水量,除基础水分和夏闲早期阶段外,玉米压青处理 100—200 cm 土层贮水量均高于免耕处理。



注:MG 为玉米压青;NT 为免耕;BW 为基础水分;ES 为夏闲早期;MSF 为夏闲中期;ESF/PS 为夏闲期末期/小麦播前;JS 为拔节期;MS 为成熟期。下同。

图 1 夏闲期玉米压青和免耕处理下麦田土壤周年贮水量
Fig. 1 Annual soil water storage under maize green manure returning and no-tillage treatments during summer fallow period

夏闲期玉米压青和免耕处理对 0—200 cm 土壤内各 20 cm 土层贮水量影响不同(图 2)。玉米压青和免耕处理在土壤基础贮水量上各土层变化基本一致。在夏闲早、中期,玉米压青 0—80 cm 各土层贮水量均显著低于免耕处理,这与玉米生长耗水有关,而

100—200 cm 较深层的贮水量变化,二者差异较小。在夏闲末期及小麦季阶段,压青和免耕处理 100—200 cm 较深层的贮水量变化均要大于 0—100 cm 土层,玉米压青处理 100—200 cm 各层贮水量均要高于免耕处理,说明与免耕相比,压青处理对深层土壤的蓄水能力更强。

2.2 夏闲期玉米压青对旱地麦田周年耗水量变化的影响

夏闲期玉米压青和免耕处理对旱地麦田周年耗水量变化的影响不同(表 1)。免耕处理 0—200 cm,0—100 cm,100—200 cm 土层周年耗水量均显著高于玉米压青处理($p<0.05$),其中两处理 100—200 cm 较深层水的消耗值均要高于 0—100 cm 浅土层。夏闲期 100—200 cm 和 0—200 cm 土层盈水量玉米压青处理要极显著高于免耕处理($p<0.01$),说明与免耕相比,压青能够提高深层土壤的蓄水能力。在小麦季,玉米压青处理 0—100 cm 土层耗水量显著低于免耕,而在 100—200 cm 和 0—200 cm 土层耗水量两处理间差异较小($p>0.05$),说明与免耕相比,压青可减少 0—100 cm 浅土层用于作物生长或土壤损耗的水分耗散量。

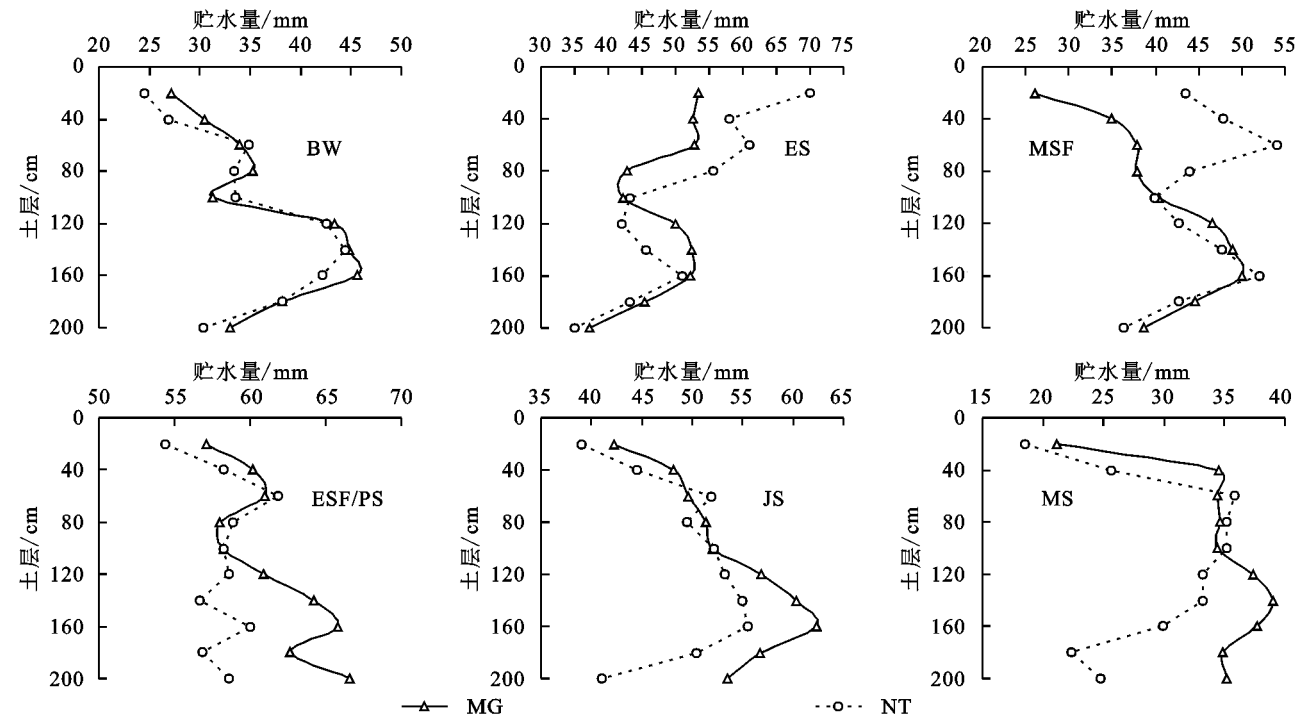


图 2 夏闲期玉米压青和免耕处理下麦田各土层贮水量变化
Fig. 2 Each soil layer water storage change trends under green manure returning and no-tillage treatments during summer fallow period

夏闲期玉米压青和免耕处理对 0—200 cm 土壤内各 20 cm 土层耗水量的影响不同(图 3)。在夏闲期,玉米压青处理的耗水峰值出现在 20—40 cm 和 120—140 cm 土层(30 mm),而免耕处理的耗水峰值出现在 20—40 cm 和 180—200 cm 土层;100 cm 以下土层两处理耗

水量变化基本一致,而在 120—180 cm 土层,压青处理耗水量显著高于免耕。在小麦季,两处理的耗水峰值均出现在 0—20 cm 土层,且两处理随土层深度增大耗水量变化趋势基本一致。在周年生长阶段,两处理的耗水峰值均出现在 160—180 cm 土层,且 160 cm 土层以

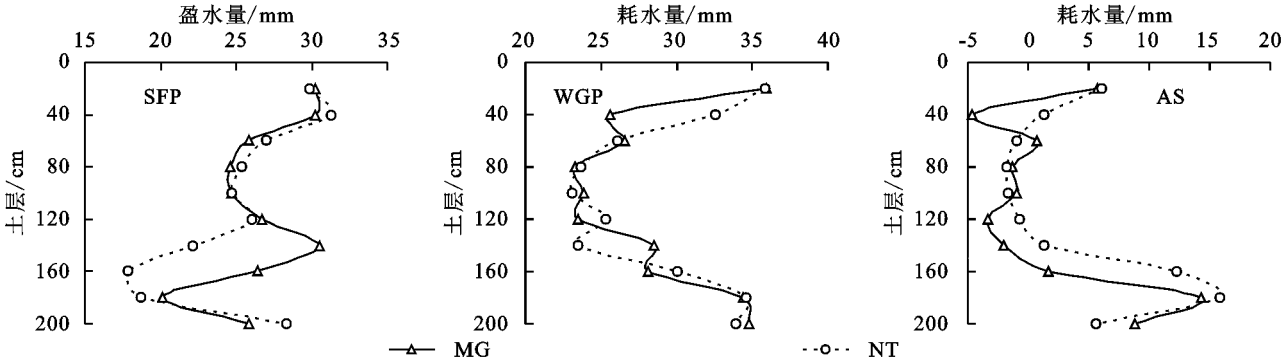
下的耗水量要显著高于其上土层。

表 1 夏闲期玉米压青和免耕处理下不同时期土壤耗水量变化

Table 1 Different periods' soil water consumption change trends under green manure returning and no-tillage treatments during summer fallow period				
处理	土层/ cm	夏闲期 盈水量/mm	小麦季 耗水量/mm	周年 耗水量/mm
MG	0—100	135.68	135.25	—0.43
	100—200	129.76	149.20	19.44
	0—200	265.44	284.45	19.01
NT	0—100	138.24	141.30	3.06
	100—200	113.02	147.32	34.30
	0—200	251.26	288.62	37.35
ANOVA	F_1	2.08	20.54*	10.93*
	F_2	110.56**	1.28	150.97**
	F	97.46**	3.81	182.35**

注: F, F_1, F_2 分别代表玉米压青和免耕处理在 0—200 cm, 0—100 cm 和 100—200 cm 土层耗水量变化方差分析的 F 值; 右上角* 和** 分别代表各处理在 0.05, 0.01 水平差异显著。下同。

夏闲期玉米压青和免耕处理对耗水量及耗水比例的影响不同(表 2)。在夏闲期、小麦季和周年阶段, 玉米压青处理作物耗水量均低于免耕处理, 且在夏闲期和周年阶段两者存在显著差异($p<0.05$)。从降水与总耗水比可以看出, 周年作物耗水量占降水量的 95% 以上, 在夏闲期降水量远大于作物耗水, 说明此阶段是土壤蓄水关键时期, 而小麦季作物耗水量又远大于降水量, 说明此阶段小麦生长的主要水分来源为夏闲期的土壤贮水量。0—200 cm 土壤贮水变化在夏闲期为盈水(>250 mm), 在小麦季为耗水(>280 mm), 压青处理土壤盈水量夏闲期高于免耕, 而小麦季又低于免耕, 说明玉米压青处理蓄水能力更好。两处理土壤贮水消耗量占总耗水量的百分比小麦季均显著高于夏闲期, 而周年百分比小, 说明周年作物(绿肥+小麦)生长主要水分来源为自然降水, 免耕处理的耗水百分比显著高于压青处理($p<0.05$)。



注: SFP 为夏闲期; WGP 为小麦季; AS 为周年。下同。

图 3 夏闲期玉米压青和免耕处理下麦田各土层耗水量变化
Fig. 3 Each soil layer water consumption change trends under green manure returning and no-tillage treatments during summer fallow period

表 2 夏闲期玉米压青和免耕处理对耗水量及耗水比例的影响

Table 2 Effects of water consumption amounts and percentage under green manure returning and no-tillage treatments during summer fallow period						
时期	处理	作物 耗水量/mm	降水量/ mm	降水/ 总耗水/%	土壤贮水 变化/mm	土壤耗水/ 总耗水/%
SFP	MG	537.36b	802.80	149.40a	265.44a	—49.40a
	NT	551.54a	802.80	145.56b	251.26b	—45.56b
WGP	MG	402.05a	117.60	29.25a	284.45a	70.75a
	NT	406.22a	117.60	28.95a	288.62a	71.05a
AS	MG	939.41b	920.40	97.98a	19.01b	2.02b
	NT	957.75a	920.40	96.10b	37.35a	3.90a

注: 小写字母代表各处理在 0.05 水平差异显著。下同。

2.3 夏闲期玉米压青对旱地麦田生物产量及水分利用效率的影响

夏闲期玉米压青和免耕处理对旱地小麦产量三要素及籽粒产量的影响不同(表 3)。压青处理小麦穗数、穗粒数显著高于免耕, 而千粒重差异较小。压青处理的小麦穗数和穗粒数分别较免耕提高了

7.54%, 10.59%, 籽粒产量较免耕提高 7.36%, 说明在播前墒情较好条件下, 夏闲期玉米压青还田处理较免耕处理增产。

夏闲期玉米压青和免耕处理对旱地麦田降水、水分利用效率的影响不同(表 4)。玉米压青处理的生物及籽粒产量在夏闲期、小麦季和周年均显著高于免

耕($p<0.05$)。在夏闲期土壤对降雨的蓄水效率,压青处理显著高于免耕,较免耕提高 5.62%。在夏闲期玉米压青还田生物量显著高于免耕处理条件下,小麦季和周年阶段,压青处理生物产量及籽粒产量的降水、水分利用效率均显著高于免耕处理。

表 3 夏闲期玉米压青和免耕处理对小麦产量三要素的影响
Table 3 Effects of three elements in wheat yield under green manure returning and no-tillage treatments during summer fallow period

处理	穗数/ (10^4 hm^2)	穗粒数	千粒重/ g	籽粒产量/ ($\text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$)
MG	290.17a	31.33a	40.13a	5361.60a
NT	269.83b	28.33b	39.49a	4991.25b

3 讨论

3.1 夏闲期玉米压青对旱地麦田周年贮水量的影响
在晋南旱地麦区,全年 70%以上降水集中在 7—9

月,而小麦产量形成主要依赖于生育期有效降水及播前土壤蓄水量,不同的夏闲期土壤耕作方式对土壤贮水影响较大。已有研究表明,与免耕相比,夏闲期玉米压青可提高小麦季 0—200 cm 土壤贮水量,且高海拔试点贮水量高于低海拔试点^[25]。李婧^[26]在渭北旱塬麦田的研究表明,与传统夏闲期休闲耕作方式相比,绿肥提前翻压有利于提高小麦播前土壤贮水量,增加冬小麦分蘖数和穗数,蓄水培肥,增产效果明显,这与本研究结果基本一致。在本研究中,夏闲期玉米压青 0—200 cm 土层贮水量在夏闲早、中期均低于免耕,这与玉米生长耗水有关;基于夏闲末期/小麦播前(10 月初)的较大降雨量,在其后的小麦季玉米压青处理 0—200 cm 土层的贮水量又高于免耕,从而为冬小麦增产提供良好水分环境。小麦季 0—100 cm 土层贮水量两处理结果基本一致,而 100—200 cm 土层贮水量玉米压青处理要高于免耕,说明与免耕模式相比,夏闲期玉米压青还田处理对较深层土壤的蓄水能力更强。

表 4 夏闲期玉米压青和免耕处理对水分利用效率的影响

Table 4 Effects of water use efficiency under green manure returning and no-tillage treatments during summer fallow period										
时期	处理	生物产量/	籽粒产量/	降水量/	总耗	休闲期土壤	降水利用效率/		水分利用效率/	
		(kg · hm ⁻²)	(kg · hm ⁻²)	mm	水量/mm	蓄水效率/%	(kg · hm ⁻² · mm ⁻¹)		(kg · hm ⁻² · mm ⁻¹)	
							生物量	籽粒	生物量	籽粒
SFP	MG	6597.26a		802.80	537.36b	33.06a	8.22a		12.28a	
	NT	661.11b		802.80	551.54a	31.30b	0.82b		1.20b	
WGP	MG	12057.90a	5361.60a	117.60	402.05a		102.53a	45.59a	29.99a	13.34a
	NT	11206.20b	4991.25b	117.60	406.22a		95.29b	42.44b	27.59b	12.29b
AS	MG	18655.20a	5361.60a	920.40	939.41b		20.27a	5.83a	19.86a	5.71a
	NT	12859.80b	4991.25b	920.40	957.75a		13.97b	5.42b	13.43b	5.21b

3.2 夏闲期玉米压青对旱地麦田周年耗水量的影响
李顺^[27]通过晋南旱塬麦区夏闲期绿肥作物筛选试验,认为绿肥生物量的形成与耗水量呈极显著正相关关系,且降水量越少相关性越强;与免耕模式相比,箭筈豌豆等豆科绿肥作物压青还田后耗水量略高但两模式间差异不显著,绿肥压青后茬小麦产量高于免耕模式。在渭北平原旱作麦区^[28]夏闲期和小麦季,光叶苕子等豆科绿肥作物压青处理 0—200 cm 土层耗水量均显著高于对照免耕处理,但差异会随着压青年限和小麦生育期推进而逐渐减小。本研究结果与此存在差异,夏闲期玉米压青处理 0—200 cm 土壤周年耗水量显著低于免耕处理,小麦季压青处理 0—100 cm 较浅土层耗水量显著低于免耕,而 100—200 cm 较深土层耗水量两者间差异较小,说明压青处理更能抑制浅土层(0—100 cm)的水分耗散,这可能与该年度夏闲末期/小麦播前时期降水量(241.5 mm)较往年偏高有关,小麦播前良好的水分环境更能充分

发挥夏闲期玉米压青处理的改土扩蓄效果,为后期小麦生长提供更好环境条件。

3.3 夏闲期玉米压青对旱地麦田生物产量及水分利用效率的影响

夏闲期绿肥压青通过影响土壤理化性质、微生物含量及水分微环境,进而对后茬作物产量产生影响。已有陕西渭北旱塬旱地麦田绿肥—冬小麦轮作的定位试验^[29]研究表明,绿肥轮作可显著提高浅层土壤的水分和氮磷钾养分含量,且在轮作第一年,种植绿肥降低了小麦籽粒产量和生物量,其后年度绿肥压青处理均较免耕处理显著提高小麦产量,且呈逐年递增趋势,这与本研究玉米压青处理的研究结果不同。本研究中,夏闲期玉米压青处理第一年度,周年生物产量及小麦籽粒产量均显著高于免耕处理,这与小麦播前较大降雨量有关,且在降雨较多条件下玉米压青处理 0—200 cm 土层贮水量高于免耕,从而为后茬小麦萌发和苗期生长提供了良好的水分环境。另外,在小麦拔节期至成熟

期,玉米压青处理0—200 cm土层贮水量均高于免耕处理,使得小麦产量三要素中,除千粒重外,穗数和穗粒数指标均以玉米压青处理表现更好。在周年生育期内,基于显著高于免耕处理的小麦籽粒产量和低于免耕处理的总耗水量($p < 0.05$),夏闲期玉米压青处理的降水、水分利用效率指标均优于免耕。

4 结论

(1) 在旱地麦田丰水年份,与免耕休闲耕作方式相比,夏闲期玉米压青处理可显著提高0—200 cm土壤周年贮水量,且对100—200 cm较深层土壤的蓄水能力更强;玉米压青处理0—200 cm土壤周年耗水量及耗水百分比均显著低于免耕处理;与免耕相比,压青处理可提高夏闲期0—200 cm土层盈水量,减少小麦季0—100 cm浅土层的水分耗散量;压青处理小麦穗数、穗粒数显著高于免耕,而千粒重差异较小。

(2) 在夏闲期玉米压青还田生物量显著高于免耕处理条件下,小麦季和周年阶段,压青处理生物产量及籽粒产量的降水、水分利用效率均显著高于免耕处理。压青处理夏闲期0—200 cm土壤对降雨的蓄水效率显著高于免耕。

(3) 与夏闲期免耕模式相比,夏闲期玉米压青处理可显著改善旱地麦田丰水年份0—200 cm土壤水分微环境,为后茬小麦增产奠定坚实基础。

参考文献(References):

- [1] 王森,袁潇,王艳,等.我国设施农业土壤质量退化现状及修复技术研究进展[J].现代化农业,2022(11):29-32.
Wang M, Yuan X, Wang Y, et al. Research progress of soil quality degradation and restoration technology in China's facility agriculture[J]. Modernizing Agriculture, 2022(11):29-32.
- [2] 骆美,郭龙,费坤,等.耕地质量提升技术及其应用[J].中国农学通报,2022,38(21):76-81.
Luo M, Guo L, Fei K, et al. Cultivated land quality: Improving technologies and their application[J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2022,38(21):76-81.
- [3] 刘艳玲.绿肥压青和土壤改良剂对连作花生土壤微环境和产量品质的影响[D].山东泰安:山东农业大学,2022.
Liu Y L. Effects of Green Manure and Soil Amendment on Soil Microenvironment, Yield and Quality Under Continuous Cropping Peanut[D]. Taian, Shandong: Shandong Agricultural University, 2022.
- [4] 杨思,杨文平,景豆豆,等.麦后复种苜蓿压青还田改善土壤微生物群落结构[J].应用与环境生物学报,2021,27(4):978-987.
Yang S, Yang W P, Jing D D, et al. Improvement of soil microbial community structure by multiple cropping alfalfa after wheat[J]. Chinese Journal of Applied and Environmental Biology, 2021,27(4):978-987.
- [5] 赵茜,施龙清,何海芳,等.间作不同绿肥植物组合对茶园土壤改良的效果[J].福建农业学报,2021,36(5):602-609.
Zhao Q, Shi L Q, He H F, et al. Improvement of plantation soil by intercropping tea plants with green manures[J]. Fujian Journal of Agricultural Sciences, 2021,36(5):602-609.
- [6] 张磊,徐昌旭,刘佳,等.减施20%化肥下绿肥翻压量对江西双季稻产量及氮素利用的影响[J].植物营养与肥料学报,2022,28(5):845-856.
Zhang L, Xu C X, Liu J, et al. Effects of green manure on yield and nitrogen utilization of double rice under reduced 20% chemical fertilizer input in Jiangxi Province[J]. Journal of Plant Nutrition and Fertilizers, 2022,28(5):845-856.
- [7] 宋佳,黄晶,高菊生,等.冬种绿肥和秸秆还田对双季稻区土壤团聚体和有机质官能团的影响[J].应用生态学报,2021,32(2):564-570.
Song J, Huang J, Gao J S, et al. Effects of green manure planted in winter and straw returning on soil aggregates and organic matter functional groups in double cropping rice area[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2021, 32(2):564-570.
- [8] 刘小粉,王清涛,白双宇,等.绿肥根茬还田和化肥用量对土壤团聚性及碳氮分布的影响[J].中国土壤与肥料,2021(3):220-226.
Liu X F, Wang Q T, Bai S Y, et al. Soil aggregation and distributions of carbon and nitrogen as affected by chemical fertilizer applying rate and returning root stubble of green manure[J]. Soil and Fertilizer Sciences in China, 2021(3):220-226.
- [9] 许小虎,车宗贤,赵旭,等.长期施用绿肥对小麦玉米间作土壤微生物的影响[J].干旱地区农业研究,2023,41(1):33-44.
Xu X H, Che Z X, Zhao X, et al. Effects of long-term application of green manure on soil microorganisms in wheat maize intercropping[J]. Agricultural Research in the Arid Areas, 2023,41(1):33-44.
- [10] 周德平,吴淑杭,褚长彬,等.油菜绿肥还田对后茬水稻产量、稻田土壤理化性状及微生物的影响[J].上海农业学报,2020,36(5):68-73.
Zhou D P, Wu S H, Chu C B, et al. Effects of rape green manure returning to field on rice yield, soil physicochemical properties and microorganism[J]. Acta Agriculturae Shanghai, 2020,36(5):68-73.
- [11] 付双军.种植绿肥植物对黄土高原干旱区休耕地土壤肥力的影响[D].兰州:甘肃农业大学,2018.
Fu S J. Effects of Planting Green Manure Plants on Soil Fertility in Fallow Land in Arid Areas of the Loess Plateau

- [D]. Lanzhou: Gansu Agricultural University, 2018.
- [12] 姚鹏伟. 种植绿肥和施氮对旱地小麦生长及土壤性质的影响[D]. 陕西杨凌: 西北农林科技大学, 2013.
- Yao P W. Effects of Green Manure and Nitrogen Rate on Wheat Growth and Soil Property in Dryland[D]. Yan-gling, Shaanxi: Northwest A&F University, 2013.
- [13] 程会丹, 聂军, 鲁艳红, 等. 绿肥对土壤有机碳含量、质量及稳定性影响的研究进展[J]. 湖南农业科学, 2018, 395(8): 119-122.
- Cheng H D, Nie J, Lu Y H, et al. Research progress on the effects of green manure on quantity, quality and stability of soil organic carbon[J]. Hunan Agricultural Sciences, 2018, 395(8): 119-122.
- [14] 刘淑军, 周玲红, 唐利忠, 等. 紫云英替代化学氮肥影响红壤水稻土团聚体组成及有机碳分布特征[J]. 土壤与作物, 2023, 12(1): 25-33.
- Liu S J, Zhou L H, Tang L Z, et al. Effects of chemical fertilizer substitution of milk vetch on aggregate composition and organic carbon distribution in red paddy soil[J]. Soils and Crops, 2023, 12(1): 25-33.
- [15] 赵馨雅, 刘帅, 徐静怡, 等. 覆盖作物种植对砂姜黑土团聚体稳定性及其有机碳组分的影响[J/OL]. 农业资源与环境学报, 2023; 1-14 [2023-03-21]. <https://doi.org/10.13254/j.jare.2022.0822>.
- Zhao X Y, Liu S, Xu J Y, et al. Effects of cover cropping on the aggregate stability of Shajiang black soil and its organic carbon fractions[J/OL]. Journal of Agricultural Resources and Environment, 2023; 1-14 [2023-03-21]. <https://doi.org/10.13254/j.jare.2022.0822>.
- [16] 贝凯月, 向春阳, 赵秋, 等. 绿肥翻压对土壤微量元素含量及玉米吸收的影响[J]. 玉米科学, 2023, 31(1): 143-152.
- Bei K Y, Xiang C Y, Zhao Q, et al. Effect of green manure returning on soil micronutrient content and maize absorption[J]. Journal of Maize Sciences, 2023, 31(1): 143-152.
- [17] 王利民, 黄东风, 何春梅, 等. 紫云英还田对黄泥田土壤理化和微生物特性及水稻产量的影响[J]. 生态学报, 2023, 43(11): 4782-4797.
- Wang L M, Huang D F, He C M, et al. Impacts of the chinese milk vetch (*Astragalus sinicus* L.) residue incorporation on soil physicochemical, microbial properties and rice yields in yellow-mud paddy field[J]. Acta Ecologica Sinica, 2023, 43(11): 4782-4797.
- [18] 苏港, 王怡针, 吴锡冬, 等. 还田时期对绿肥用油菜腐解与养分释放规律的影响[J]. 中国土壤与肥料, 2022(12): 192-199.
- Su G, Wang Y Z, Wu X D, et al. Effects of decomposition and nutrient release of green manure rapeseed by stages of returning to the field[J]. Soil and Fertilizer Sciences in China, 2022(12): 192-199.
- [19] 丁婷婷, 段廷玉. 果园绿肥对果树-土壤-微生物系统影响研究进展[J]. 果树学报, 2021, 38(12): 2196-2208.
- Ding T T, Duan T Y. Research progress on the influence of orchard green manure on fruit tree-soil-microbe system[J]. Journal of Fruit Science, 2021, 38(12): 2196-2208.
- [20] 韩梅, 刘蕊, 李正鹏, 等. 种植绿肥对作物产量和细菌群落稳定性的影响[J]. 中国环境科学, 2021, 41(11): 5382-5390.
- Han M, Liu R, Li Z P, et al. Green manuring increased crop yields and the stability of bacterial community[J]. China Environmental Science, 2021, 41(11): 5382-5390.
- [21] 李春红. 油菜绿肥还田对盐碱土壤氮素及微生物特征的影响[D]. 新疆石河子: 石河子大学, 2021.
- Li C H. Effects of Green Manure Returning to Field on Nitrogen and Microbial Characteristics in Saline-alkali Soil[D]. Shihezi, Xinjiang: Shihezi University, 2021.
- [22] 张刁亮, 杨昭, 胡发龙, 等. 复种绿肥在不同灌水水平下对小麦籽粒品质和产量的影响[J]. 作物学报, 2023, 49(9): 2572-2581.
- Zhang D L, Yang Z, Hu F L, et al. Effects of multiple cropping green manure on grain quality and yield of wheat with different irrigation levels[J]. Acta Agonomica Sinica, 2023, 49(9): 2572-2581.
- [23] 王鹏飞, 于爱忠, 王玉珑, 等. 麦后复种绿肥翻压还田结合减氮对土壤水热特性及玉米产量的影响[J]. 作物学报, 2023, 49(10): 2793-2805.
- Wang P F, Yu A Z, Wang Y L, et al. Effects of multiple cropping green manure after wheat harvest combined with reduced nitrogen application on soil hydro-thermal characteristics and maize yield[J]. Acta Agonomica Sinica, 2023, 49(10): 2793-2805.
- [24] 樊志龙, 胡发龙, 殷文, 等. 干旱灌区春小麦水分利用特征对绿肥与麦秸协同还田的响应[J]. 中国农业科学, 2023, 56(5): 838-849.
- Fan Z L, Hu F L, Yin W, et al. Response of water use characteristics of spring wheat to CoIncorporation of green manure and wheat straw in arid irrigation region[J]. Scientia Agricultura Sinica, 2023, 56(5): 838-849.
- [25] 马爱平, 崔欢虎, 亢秀丽, 等. 不同海拔夏闲期压青茬口对麦田水分及水分利用效率的影响[J]. 水土保持学报, 2020, 34(4): 249-255.
- Ma A P, Cui H H, Kang X L, et al. Effects of green manuring rotations in summer fallow period on soil water and water use efficiency in wheat field in different altitude-regions[J]. Journal of Soil and Water Conservation, 2020, 34(4): 249-255.

- [19] Guareschi R F, Pereira M G, Perin A. Oxidizable carbon fractions in Red Latosol under different management systems[J]. *Revista Ciência Agronômica*, 2013, 44(2):242-250.
- [20] Davidson E A, Janssens I A. Temperature sensitivity of soil carbon decomposition and feedbacks to climate change[J]. *Nature*, 2006, 440(7081):165-173.
- [21] 孙彩丽, 刘国彬, 马海龙, 等. 不同沙生植被土壤易氧化有机碳组分及其含量的差异[J]. *草地学报*, 2012, 20(5):863-869.
- Sun C L, Liu G D, Ma H L et al. Variation characteristics and fractions of oxidizable organic carbon in different sandy vegetation soil[J]. *Acta Agrestia Sinica*, 2012, 20(5):863-869.
- [22] Ye Y, Liang X, Chen Y, et al. Carbon, nitrogen and phosphorus accumulation and partitioning, and C : N : P stoichiometry in late-Season rice under different water and nitrogenmanagements[J]. *Plos One*, 2014, 9(7): e101776.
- [23] Dolezal J, Homma K, Takahashi K, et al. Primary succession following deglaciation at Koryto Glacier valley, Kamchatka [J]. *Arctic, Antarctic, and Alpine Research*, 2008, 40(2):309-322.
- [24] 王艳丹, 余建琳, 张梦寅等. 施氮对干热河谷农田土壤有机碳及其组分的影响[J]. *中国土壤与肥料*, 2022, No.305(09):8-17.
- Wang Y D, Yu J L, Zhang M Y et al. Effects of nitrogen application on agricultural soil organic carbon and its components in the dry-hot valley[J]. *Chinese Soil and Fertilizer*, 2022, No.305(09):8-17.
- [25] Hans L, John A R, Gaius R S, et al. Plant nutrient-acquisition strategies change with soil age[J]. *Trends in Ecology & Evolution*, 2008, 23(2):95-103.
- [26] 简尊吉, 倪妍妍, 徐瑾, 等. 马尾松人工林土壤碳氮磷生态化学计量学特征的纬度变化[J]. *林业科学研究*, 2022, 35(2):1-8.
- Jian Z J, Ni Y Y, Xu J et al. Latitudinal variations of soil C-N-P stoichiometry in *Pinus massoniana* (Lamb.) plantations[J]. *Forest Research*, 2022, 35(2):1-8.
- [27] 曾全超, 李鑫, 董扬红, 等. 陕北黄土高原土壤性质及其生态化学计量的纬度变化特征[J]. *自然资源学报*, 2015, 30(5):870-879.
- Zeng Q C, Li X, Dong Y H et al. Ecological stoichiometry characteristics and physical-chemical properties of soils at different latitudes on the Loess Plateau[J]. *Journal of Natural Resources*, 2015, 30(5):870-879.
- [28] 刘耀辉, 郑洪元, 文杰, 等. 江西省森林土壤碳氮磷含量及其化学计量比特征分析[J]. *南方林业科学*, 2021, 49(2):42-46.
- Liu Y H, Zheng Q Y, Wen J et al. Carbon nitrogen phosphorus and its chemical measurement ratio characteristics in forest soils in Jiangxi Province[J]. *South China Forestry Science*, 2021, 49(2):42-46.
- [29] 刘丹, 游郭虹, 宋小艳等. 施磷对川西北高寒草地土壤磷形态及有效性的影响[J]. *生态学报*, 2023, 43(06):2378-2387.
- Liu D, You G H, Song X Y et al. Effects of phosphorus fertilization on soil phosphorus fractions and availability in an alpine grassland of northwestern Sichuan [J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2023, 43(06):2378-2387.
- [30] Chen L, Li P, Yang Y. Dynamic patterns of nitrogen: Phosphorus ratios in forest soils of China under changing environment[J]. *Journal of Geophysical Research Biogeosciences*, 2016, 121(9):2410-2421.

(上接第 67 页)

- [26] 李婧. 渭北旱塬两种轮作制度中绿肥的效应研究[D]. 陕西杨凌: 西北农林科技大学, 2012.
- Li J. Effects of Green Manure in Two Crop Rotation Systems in Weibei Rainfed Highland[D]. Yangling, Shaanxi: Northwest A&F University, 2012.
- [27] 李顺. 黄土旱塬冬小麦-夏绿肥模式的水肥效应及土壤微生物多样性研究[D]. 山西太谷: 山西农业大学, 2020.
- Li S. Study on Soil Water-fertilizer Effect and Microbial Diversity with Different Winter Wheat-summer Green Manure Model in Dryland of Loess Plateau[D]. Taigu, Shanxi: Shanxi Agricultural University, 2020.
- [28] 苏晨. 不同绿肥与小麦轮作对土壤水肥环境及小麦生长的影响[D]. 陕西杨凌: 西北农林科技大学, 2014.
- Su C. Effects of the Rotation of Different Green Manures and Wheat on Soil Water-fertility and Growth of Wheat [D]. Yangling, Shaanxi: Northwest A&F University, 2014.
- [29] 杨宁. 豆科绿肥-冬小麦轮作提高小麦产量和营养元素含量的效应与土壤机制[D]. 陕西杨凌: 西北农林科技大学, 2012.
- Yang N. The Effect and Soil Mechanism of Improving Wheat Yield and Nutrients Content with Legume-winter Wheat Rotations[D]. Yangling, Shaanxi: Northwest A&F University, 2012.