

填闲种植和施氮量对旱作冬小麦农田 土壤水分及作物产量的影响

张 祺,王 俊

(西北大学城市与环境学院,陕西 西安 710127)

摘 要:田间试验研究了填闲种植和施氮对旱作冬小麦农田土壤水分和作物产量的影响。试验设双因素处理随机区组设计,填闲作物采用黑麦草单播(R)、长武怀豆单播(S)、黑麦草与怀豆混播(SR)以及裸地休闲(NC),氮肥水平设0、60、120 kg·hm⁻²三个水平。结果表明,与裸地休闲相比,长武怀豆单播和与黑麦草混播夏闲期降水贮存效率分别降低了9.2%和7.7%,小麦播前土壤含水量减少了19 mm和15 mm,进而导致后续小麦产量的显著下降;而黑麦草单播对土壤水分和后续小麦产量没有显著影响;种植小麦前施加氮肥可以提高粮食作物产量、收获指数和千粒重,同时可增加次年填闲作物生物量,但会加速土壤水分消耗、降低降水储存效率。从土壤水分和作物生产角度考虑,旱作冬小麦种植系统休闲期间可以考虑种植黑麦草以增加覆盖,提高肥力,但不建议填闲种植耗水量较高的怀豆等作物。

关键词:填闲种植;施氮量;旱作冬小麦;降水储存效率;土壤水分;产量

中图分类号:S152.7⁺5 **文献标志码:**A

Effects of cover crop and N fertilization on soil moisture and crop yield in a dryland winter wheat field

ZHANG Qi, WANG Jun

(College of Urban and Environmental Science, Northwest University, Xi'an, Shaanxi 710127, China)

Abstract: A field experiment was carried out to study the effects of cover cropping and N fertilization on soil water and crop yield of dryland winter wheat. Five treatments including cover crops (ryegrass, Changwu cowpea, ryegrass mixed with Changwu cowpea, and fallow) and N fertilization (0, 60, 120 kg·hm⁻²) were included in a randomized complete experimental design. Compared with the fallow plot, multiple cropping of cowpea and ryegrass significantly impacted the precipitation storage efficiency decreased by 9.2% and 7.7%, respectively, soil water content before planting wheat decreased by 19 mm and 15 mm respectively, that resulted in significant decrease in wheat yield. However, ryegrass did not significantly affect the precipitation storage and water content. Application of N fertilizer before planting increased wheat production and also cover crop's biomass but decreased soil water and precipitation storage efficiency. It is concluded that ryegrass can be used as a cover crop to increase soil coverage and fertility for the monoculture system of winter wheat in the dryland areas.

Keywords: cover cropping; N fertilization; dryland winter wheat; precipitation storage efficiency; soil water; yield

冬小麦单作系统是黄土高原旱作农业区常见的种植系统之一,冬小麦通常在9月下旬播种,次年6月中下旬收获,休闲期间多采用裸地休闲方式以储存降水。尽管7月至9月份的降水量可占到全年降水的60%~70%,然而由于与夏季高温并行,大量

水分由裸土表面蒸发损失^[1-2],导致夏闲期的降水贮存效率平均仅在30%左右^[3]。在这种情况下,能否考虑种植填闲作物以增加地表覆盖、减少水分无效蒸发在旱作农业区具有重要的研究价值。然而引种填闲作物是否会过度消耗土壤水分,进而影响

后续作物生长?已有报道的研究结果存在较大矛盾。Restovich 等^[4]在南美潘帕斯地区和张树兰等^[5]在黄土高原地区进行的研究均表明,种植填闲作物对旱作农田水分平衡以及后续粮食作物水分利用不会产生显著影响。而赵娜等^[6]则发现夏闲期种植豆科绿肥会显著增加对土壤水分的消耗,影响后续小麦生长并导致作物产量下降。目前来看,填闲种植对土壤水分的效应可能与填闲作物种类、管理方式和气候条件有关^[7],但这一结果尚待进一步研究。本文以旱作冬小麦农田为对象,研究了不同填闲作物和施氮对土壤水分和作物产量形成的影响,旨在为填闲种植在黄土高原旱作农业区的适应推广提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 研究区域概况

田间实验在中国科学院长武黄土高原农业生态试验站(107°44'E,35°12'N)进行。该站地处黄土高原中南部的渭北旱原,地势平坦,海拔1 200 m,属于半干旱半湿润暖温带大陆性季风气候,多年平均降水580 mm,且主要集中在7-9月,年际变化较大,平均温度9.1℃,无霜期171 d,年日照时数2 230 h,是典型的旱作农业区,主要农作物为冬小麦、春玉米等。试验期间的降雨量见图1。

1.2 试验设计

试验始于2014年9月,试验采用填闲作物和氮肥双因素处理随机区组设计,填闲作物包括长武怀豆(S)、黑麦草(R),怀豆与黑麦草混播(SR)和裸地休闲(NC)四个处理,氮肥仅在冬小麦播种前施入,包括0(N0)、60 kg·hm⁻²(N1)和120 kg·hm⁻²(N2)三个水平。其中长武怀豆播量为82.5 kg·hm⁻²,黑麦草播量为21.4 kg·hm⁻²,二者混播时播量各自减半。每处理重复三次,共计36个小区。试验小区长7 m,宽3 m。冬小麦(长旱58)于2014年9月30日播种,播量为225 kg·hm⁻²,于2015年6月28日收获。填闲作物于小麦收获后种植,生长至

9月15日用旋耕机翻耕入田,腐解两周,于9月30日种植冬小麦。氮肥(尿素,N>46.6%)按试验设计用量于冬小麦播种前两天施入,同时所有小区配施磷肥90 kg·hm⁻²(过磷酸钙,总P₂O₅>46%,有效P₂O₅>14%)。作物生长期间无灌溉,采用人工方式进行除草管理。

1.3 测定指标和方法

土壤水分:分别在小麦播种前和小麦收获后,采用烘干法测定土壤水分含量,其中0~20 cm每10 cm取一次,20~200 cm每20 cm取一次。冬小麦生育期水分蒸散量(ET)和休闲期降水贮存效率(PSE)按以下公式计算:

$$ET = (SWH - SWP) + P_g \quad (1)$$

其中,SWP和SWH分别为冬小麦播种前和收获后土壤水分, P_g 为冬小麦生育期内降水量。

$$PSE = (SWP' - SWH) + P_f \quad (2)$$

其中,SWH和SWP'是冬小麦收获和播种时土壤水分, P_f 为休闲期内降水量。

填闲作物生物量:填闲作物在翻耕前采用样方法测定生物量,样方大小1 m×1 m,每小区三次重复。采样时将样方内填闲作物地上部分齐地刈割,鲜样在105℃下杀青60 min,调整温度到70℃下烘干称重。

冬小麦产量及水分利用:小麦地上部分生物量整区收获,脱粒后晒干,称重记产。收获指数(HI)和水分利用率(WUE)按以下公式计算:

$$HI = Y/Dw \times 100\% \quad (3)$$

$$WUE = Y/ET \quad (4)$$

其中,Y为小麦籽粒产量(kg·hm⁻²),Dw为地上部分生物量,ET为小麦生育期的水分蒸散量。

1.4 数据处理与分析方法

采用Microsoft Excel 2010软件处理数据和制图,运用SPSS 19.0软件进行统计分析,处理间差异用最小显著差异法(LSD)分析,显著性差异水平设定为 $\alpha=0.05$ 。

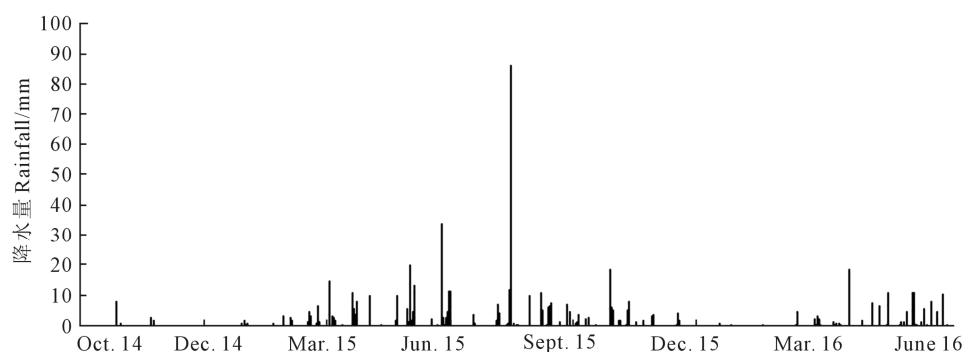


图1 2014年-2016年日降雨分布

Fig.1 Distribution of daily precipitation from 2014 to 2016

2 结果分析

2.1 土壤水分与降水储存效率

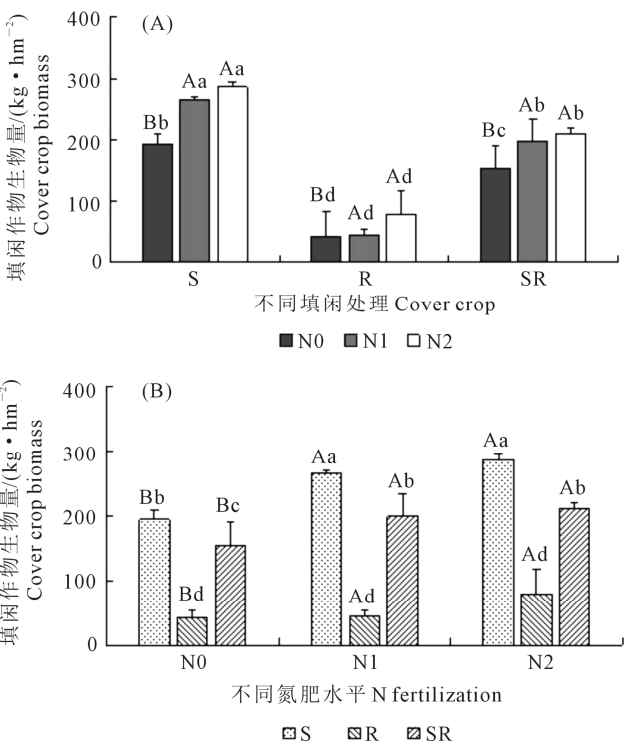
填闲种植对第二年休闲期降水储存效率和冬小麦播种前土壤水分含量具有极显著影响 ($P<0.01$),而第一年施氮肥对冬小麦收获期和次年播种期土壤水分影响不大,但对降水贮存效率具有显著影响($P<0.05$),填闲作物和氮肥间没有交互作用(表 1)。与裸地休闲相比,长武怀豆单播和二者混播 PSE 平均分别减少了 9.2%和 7.7%,播前土壤水分分别减少了 19 mm 和 15 mm,而单播黑麦草处理对土壤水分和降水贮存效率没有影响。与不施氮相比,氮肥用量 $60\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 和 $120\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 的降水贮存效率平均分别减少了 2.7%和 5%。填闲种植和施氮量对第二年小麦收获期土壤水分含量均无显著影响。

2.2 填闲作物生物量

由图 2 可见,填闲作物和氮肥类型对填闲作物生物量具有显著影响($P<0.05$)。在同一填闲作物处理中,N1 和 N2 较 N0 填闲作物生物量均显著提高($P<0.05$),在 S 处理中提高了 39.6%和 47.4%,在 R 处理中提高了 7.9%和 88.1%,在 SR 处理中提高了 29.9%和 34.5%;在同一施氮水平中,S 和 SR 填闲作物生物量显著高于 R($P<0.05$),在 N0 处理中提高了 460%和 370%,在 N1 处理中为 590%和 440%,在 N2 处理中为 360%和 260%。

2.3 冬小麦产量及水分利用

填闲种植和施氮水平对冬小麦地上部分生物量、



注:不同大写字母表示不同施氮水平填闲作物生物量显著性差异($P<0.05$),不同小写字母表示同一施氮水平填闲作物生物量差异显著($P<0.05$)。

Note: The different capital letters indicate significant differences ($P<0.05$) in the biomass of the cover crops at different nitrogen levels, and the different lowercase letters indicate significant differences ($P<0.05$) in the biomass of the same nitrogen application.

图 2 不同填闲作物 (A) 和氮肥水平 (B) 填闲作物生物量

Fig.2 Effect of cover crop (A) and N fertilization (B) on cover crop biomass

表 1 种植填闲作物和施氮冬小麦农田土壤水分和降水贮存效率的影响

Table 1 Effects of cover crop and N fertilization on soil water and precipitation storage efficiency

填闲作物 Cover crop	氮肥水平/($\text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$) Nitrogen level	小麦播种前土壤水分含量/mm Soil moisture content before sowing wheat	休闲期降水储存效率/% Rainfall storage efficiency during fallow period	小麦收获后土壤水分含量/mm Soil moisture content after wheat harvest
裸地对照 Fallow control (NC)		381a	27.4a	302a
长武怀豆 Changwu cowpea (S)		362b	18.2b	323a
黑麦草 Ryegrass (R)		378a	26.6a	289a
混播 Mix (SR)		366b	19.7b	302a
	0	372a	25.9a	321a
	60	370a	22.1b	298a
	120	368a	20.9c	293a
显著性 Significance				
填闲作物 Cove crop (CC)		***	***	NS
氮肥水平 Nitrogen level (N)		NS	*	NS
填闲作物×氮肥水平 CC×N		NS	NS	NS

注:*,**和***分别表示在 0.05,0.01 和 0.001 水平上显著相关。不同小写字母 a,b,c 表示不同施氮条件下不同填闲种植处理间达到显著性差异($P<0.05$)。NS 表示无显著性差异。下同。

Note: *, **, and *** mean the significance at $P<0.05,0.01$, and 0.001 levels, respectively. Different lowercase letters a,b,c following numbers showed significant difference between different cover cropping treatments under different nitrogen levels ($P<0.05$). NS means not significant. The same below.

产量和水分蒸散量具有显著影响($P<0.05$),但对收获指数、千粒重和水分利用效率影响不显著;施氮水平对除收获指数和水分蒸散量之外的其它指标影响显著,二者没有显著交互作用(表2)。与裸地休闲相比,长武怀豆单播和二者混播冬小麦生物量平均分别降低了18.6%和17.4%,冬小麦产量平均分别降低了18%和18.3%,ET则平均减少了8 mm和15 mm,而黑麦草单播与裸地休闲相比并无差异。不同施氮水平比较,施 $60\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 和 $120\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 冬小麦生物量分别较不施氮提高了74.5%和134%,产量平均提高了78.2%和143%,WUE平均提高了66%和119%。

3 讨 论

3.1 填闲种植和施氮对土壤水分及降水贮存效率的影响

填闲作物生长是否会导致土壤水分过度消耗是旱作农田填闲种植系统能否建立的核心问题。本文结果显示,在种植长武怀豆后,整个夏季休闲期间耗水量较裸地增加了14~17 mm,这与前人研究结果基本一致^[8]。例如李可懿等^[8]研究发现与夏季休闲相比,种植绿豆、大豆、秋豆等填闲作物后,小麦播前0~200 cm土壤平均水分含量显著降低。然而,与怀豆单播和混播不同,黑麦草单播与

裸地相比降水贮存效率和冬小麦播前土壤水分并无显著差异。Daigh 等^[9]指出,在爱荷华州发现休闲期种植黑麦草提高了休闲期土壤贮水量。本文与 Daigh 研究有些差异,黑麦草并没有提高土壤贮水量,其原因可能是2015年夏季为干旱季,其中30 d以上无有效降水,造成了黑麦草长势较差,在填闲作物种植前期地面覆盖程度与对照相比无明显差异,而在下雨过后,黑麦草迅速生长急速地消耗了土壤水分,并没有形成保墒作用,这可能是造成黑麦草没有提高土壤水分的原因。Basche 等^[10]在美国中西部的研究中发现,与冬季休闲处理相比,填闲作物处理能提高0~30 cm的土壤含水率,并且长期种植黑麦草不仅可以改善土壤水分状态,且对后续经济作物生长无明显影响。在旱作农业区,区域降水量和休闲期贮水量是限制其农业发展的重要因素,而种植填闲作物虽不能避免消耗水分,但可以通过一些合理的途径减少耗水量,如适当的减小填闲作物的播种密度,选取生物量大而耗水少的填闲作物,采取秸秆覆盖填闲作物等措施。

3.2 填闲种植和施氮对后续小麦产量的影响

本研究中夏闲期间种植并翻压长武怀豆后,冬小麦的产量和水分利用率均显著下降,而单播黑麦草无显著变化,这与赵娜^[6]的报道相一致。然而,李富翠等^[11]曾报道种植绿肥对冬小麦的产量不会

表2 填闲种植和施氮对2015–2016年度小麦产量形成和水分利用的影响
Table 2 Effects of cover crop and nitrogen application on yield formation and water use efficiency of winter wheat growing season in 2015–2016

填闲作物 Cover crop	氮肥水平 Nitrogen level /($\text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$)	小麦生物量 Wheat biomass /($\text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$)	小麦籽粒产量 Wheat grain yield /($\text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$)	收获指数 Harvest index /%	千粒重 Thousand grain weight /g	小麦生育期水分蒸散量 ET during wheat growth period /mm	小麦生育期水分利用效率 WUE during wheat growth period /($\text{kg}\cdot\text{mm}^{-1}\cdot\text{hm}^{-2}$)
裸地对照 (NC) Fallow control		5.07a	3.29a	64.62a	42.4a	306ab	10.7a
长武怀豆 (S) Changwu cowpea		4.13c	2.70b	65.38a	39.5a	298b	10.5a
黑麦草 (R) Ryegrass		4.73ab	3.15a	65.78a	41.1a	316a	9.9a
混播 Mix (SR)		4.19bc	2.69b	63.82a	39.7a	291b	9.0a
	0	2.67c	1.70c	63.55b	38.2b	273b	6.2c
	60	4.69b	3.03b	64.89ab	40.2b	312a	10.3b
	120	6.25a	4.13a	66.11a	44.4a	322a	13.6a
显著性 Significance							
填闲作物 Cove crop CC		* *	* *	NS	NS	NS	NS
氮肥水平 Nitrogen level (N)		* * *	* * *	NS	* * *	NS	* * *
填闲作物×氮肥水平 CC×N		NS	NS	NS	NS	NS	NS

有显著影响,降水年型和填闲作物耗水能力差别可能是结果不同的主要原因^[12-15]。本试验期间,2015年7月至9月的降雨量为234.6 mm,较休闲期的多年平均同期降水量313 mm减少了78.4 mm,属于典型干旱年份,而长武怀豆单播和二者混播生物量远大于黑麦草单播,导致长武怀豆单播和二者混播的耗水量大,冬小麦播前土壤水分显著低于对照和黑麦草单播处理。同时在该年小麦生育期间,降雨量229.7 mm,有效降水144.2 mm,低于前50 a平均降水量275 mm,这就导致小麦前期土壤水分不足,同时后期降水少,小麦整个生育期都是较缺水的状态,这可能是种植长武怀豆以及黑麦草混播导致小麦减产的原因,而单播黑麦草土壤贮水量与对照无明显差异,对后续小麦产量也并未造成显著影响。本研究于种植小麦前两周收获并翻压填闲作物,但是2015年夏季较往年干旱,种植小麦前降雨量较少,降低了降水储存效率。随着填闲作物的种植,大量填闲作物翻压,土壤有机质含量不断提高,物理性状逐步改善,可能会弥补因填闲作物耗水而导致后续小麦减产的不良后果^[7,16]。而在丰水年和平水年,填闲种植导致后续粮食作物减产的风险可能会有所降低^[11]。

4 结 论

在黄土高原渭北旱塬区降水量少、水资源利用效率有限的条件下,在冬小麦单作系统夏季休闲期间种植填闲作物和施氮肥对土壤水分和作物生产具有显著影响。与裸地休闲相比,长武怀豆单播和黑麦草混播由于较高的生物量积累导致土壤水分的过度消耗,并影响了后续冬小麦产量形成,而黑麦草单播对休闲期降水贮存效率、冬小麦播前土壤水分以及作物产量与水分利用没有影响,可以考虑在本地区进行推广种植。本实验研究时间较短,而降水、气温等因素具有年际变化性和随机性,今后需要进行多年的长期定位试验,结合合理的氮肥配施、播种密度控制、翻压时间调节等管理措施,深入探讨填闲种植系统生产力形成机制。

致谢:感谢中国科学院长武黄土高原农业生态试验站李玉成管理员在野外试验中给予的帮助。

参考文献:

- [1] Gao C Y, Zhang X H. Practical significance of multiple cropping in the Loess Plateau regions of China [M]. Lanzhou: Gansu Science and Technology Press, 1992, 198-204.
- [2] Zhu Z X, Stewart B A, Fu X J. Double cropping wheat and corn in a sub-humid region of China[J]. Field Crops Research, 1994, 36(3): 175-183.
- [3] 邓新民, 韩思明. 旱地农田土壤水分之研究[J]. 农田生态研究资料, 1985, (5): 1-12.
- [4] Restovich S B, Andriulo A E, Portela S I. Introduction of cover crops in a maize-soybean rotation of the Humid Pampas: Effect on nitrogen and water dynamics[J]. Field Crops Research, 2012, 128: 62-70.
- [5] 张树兰, Lovdahl L, 同延安. 渭北旱塬不同田间管理措施下冬小麦产量及水分利用效率[J]. 农业工程学报, 2005, 21(4): 20-24.
- [6] 赵娜, 赵护兵, 鱼昌为, 等. 夏闲期种植翻压绿肥和施氮量对冬小麦生长的影响[J]. 西北农业学报. 2010, 19(12): 41-47.
- [7] Sainju U M, Whitehead W F, Singh B P. Carbon accumulation in cotton, sorghum, and under lying soil as influenced by tillage, cover crops, and nitrogen fertilization[J]. Plant and Soil, 2005, 273(1-2): 219-234.
- [8] 李可懿, 王朝辉, 赵护兵, 等. 黄土高原旱地小麦与豆科绿肥轮作及施氮对小麦产量和籽粒养分的影响[J]. 干旱地区农业研究, 2011, 29(2): 110-116, 123.
- [9] Daigh A L, Helmers M J, Kladvik E, et al. Soil water during the drought of 2012 as affected by rye cover crops in fields in Iowa and Indiana[J]. Journal of Soil and Water Conservation, 2014, 69(6), 564-573.
- [10] Basche A D, Kaspar T C, Archontoulis S V, et al. Soil water improvements with long-time use of a winter rye cover crop[J]. Agricultural Water Management, 2016, 172: 40-15.
- [11] 李富翠, 赵护兵, 王朝辉, 等. 渭北旱地夏闲期秸秆还田和种植绿肥对土壤水分、养分和冬小麦产量的影响[J]. 农业环境科学学报, 2011, (9): 1861-1871.
- [12] 丛建鸥, 李宁, 许映军, 等. 干旱胁迫下冬小麦产量结构与生长、生理、光谱指标的关系[J]. 中国生态农业学报, 2010, 18(1): 67-71.
- [13] 吕殿青, 张文孝, 谷洁, 等. 渭北东部旱塬氮磷水三因素交互作用与耦合模型研究[J]. 西北农业学报, 1994, 3(3): 27-32.
- [14] 孟兆江, 刘安能, 吴海卿, 等. 黄淮豫东平原冬小麦节水高产水肥耦合数学模型研究[J]. 农业工程学报, 1998, 14(1): 86-90.
- [15] 刘作新, 郑昭佩, 王 建. 辽西半干旱区小麦、玉米水肥耦合效应研究[J]. 应用生态学报, 2000, 11(4): 540-544.
- [16] Sainju U M, Schomberg H H, Singh B P, et al. Cover crop effect on soil carbon fractions under conservation tillage cotton[J]. Soil Tillage Research, 2007, 96, 205-218.