

土壤扩蓄增容肥对冬小麦产量及水分利用效率的影响

周立峰^{1,3}, 冯浩^{1,2}, 杜健²

(1. 中国科学院教育部水土保持与生态环境研究中心, 陕西 杨凌 712100;

2. 西北农林科技大学水土保持研究所, 陕西 杨凌 712100; 3. 中国科学院研究生院, 北京 100049)

摘要: 采用田间试验(2007~2009年),研究了3个冬小麦品种、不同灌水量及配方肥料对冬小麦产量及水分利用效率的影响。结果表明:小偃22号产量较西农979和西农2000分别高出15.85%与11.41%;低灌水条件下,秸秆配方处理能保蓄耕层土壤水分(特别是扬花期以后),耕层土壤蓄水量分别较废料配方处理与常规施肥处理高出41.49 mm与31.65 mm,高灌水处理下,秸秆配方能减少土壤水分下渗,进而保证小麦出苗及拔节等高耗水期耗水;灌水120 mm与180 mm,秸秆配方与废料配方在减少无机化肥用量30%的情况下,小麦产量分别比常规施肥高26.93%、17.68%和29.42%、17.44%,水分利用效率分别较常规施肥高24.39%、17.07%和26.17%、18.69%。可见:从节水高产角度来看,小偃22号相比于西农979与西农2000更适合在关中灌区种植;秸秆配方的土壤扩蓄增容肥较废料配方在空间和时间上能更好地调节土壤供水能力,使土壤有效地保蓄降水与灌水;秸秆配方的土壤扩蓄增容肥节水增产效应最优。

关键词: 土壤扩蓄增容肥;冬小麦;水分利用效率;土壤含水量

中图分类号: S156.2;S512.1⁺1 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-7601(2011)04-0081-07

粮食安全是国家稳定和发展的前提,灌溉和施肥对粮食安全生产的意义尤为重要。目前我国农业缺水约300亿 m^3 ,农业用水供需矛盾日益突出。为此,山仑等提出在保证粮食产量的前提下,以高效利用降水从而减少灌溉用水为目的的半旱地农业将成为缺水地区发展节水农业的主要选择之一,并指出这一研究对完成2020年节水1000亿 m^3 的战略目标具有重要意义^[1,2]。20世纪70年代后,我国农业生产施肥方式经历了由有机肥向化肥的转变,目前我国年消耗化肥约5000万吨,是世界化肥消费的第一大国^[3]。为追求粮食增产而不断加大化肥施用量导致的土壤养分失衡和农业面源污染已成为农业生产面临的问题之一。

改良土壤结构,提高土壤保水蓄水能力是提高旱地农业生产力的研究较多的领域之一,土壤改良剂是这一领域研究的重点。庄文化等^[4]研究表明施入聚丙烯酸钠能够促进小麦生长,提高小麦叶绿素含量,与肥料混合使用时,可增产10.14%,WUE增加4.38 kg/($hm^2 \cdot mm$)。各种固体废料制成的土壤改良剂研究也较多,段喜明^[5]利用人工模拟降雨试验,研究了不同坡度下的耕作土壤施加0~10%的粉煤灰后,对土壤结构和入渗、产流、产沙的影响,结果表明

施加10%的粉煤灰可有效改善土壤结构和蓄水减沙。杨渤京等^[6]针对农业固体废物复混肥的生产工艺进行了规模化的试验研究,得出农业固体废物复混肥具有增产增收的作用。吴普特、冯浩^[7]等将土壤改良与平衡施肥结合起来,提出以秸秆、废料等为主要原料,研制成有机无机复合土壤扩蓄增容肥,达到改良土壤、高效利用水肥的目的。王珍等^[8]研究表明,有机无机土壤扩蓄增容肥在减少无机肥料用量28.6%情况下,仍能保持玉米产量,同时有效地提高水分利用效率。本文旨在通过进一步研究不同配方土壤扩蓄增容肥和灌水处理对农田土壤水分动态和冬小麦产量及水分生产效率的影响,以期为其大面积应用提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验时间与地点

试验于2007~2009年在陕西省三原县进行。该区地处关中平原泾惠灌区,海拔390 m,年平均气温11℃左右,累年积温4263℃,年日照时数2182 h,无霜期约220 d,年降水量545 mm左右,冬小麦全生育期平均降水242.8 mm,属暖温带半干旱半湿润气候。土质为瘠土(重壤土),地力均一,地势平坦,

收稿日期:2010-12-09

基金项目:“十一五”国家863计划项目(2006AA100204);高等学校学科创新引智计划资助(111-2-16)

作者简介:周立峰(1986—),男,陕西咸阳人,硕士研究生,主要研究方向为水土资源高效利用。E-mail:lee86208@126.com。

通讯作者:冯浩(1970—),男,陕西延安人,研究员,主要研究方向为水土资源高效利用。E-mail:nercwsf@vip.sina.com。

地下水埋深大于 5 m,土壤平均容重为 1.35 g/cm³,土壤属中等肥力,在小麦播种前,取样测定试验地原始土壤养分含量,测定结果为:10 cm 土层土壤有机

质含量为 16 g/kg,30 cm 土层土壤有机质含量为 9.18 g/kg,60 cm 土层土壤有机质含量为 8.29 g/kg。

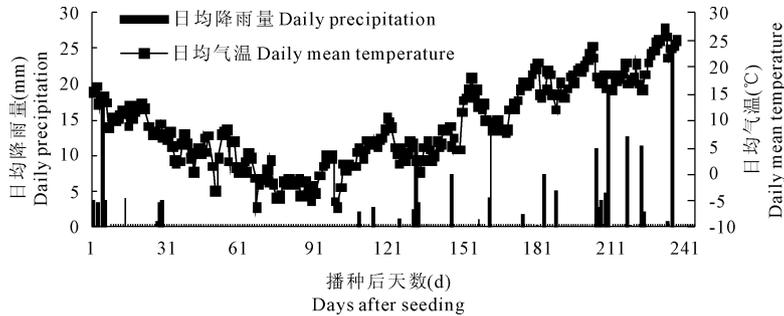


图 1 2008~2009 年冬小麦全生育期日均温与降雨分布

Fig. 1 The moisture distribution and temperature at total growth stage of winter wheat from 2008 to 2009

试验期间小麦全生育期总降雨量 185 mm,总积温 2 015.2℃。

1.2 试验材料

试供小麦品种为小偃 22、西农 2000、西农 979。供试 2 种土壤扩蓄增容肥为:(1) 秸秆配方(由秸秆、油渣及无机肥料等材料复合制成,代号 J);(2) 绵土配方(由绵土、油渣及无机肥料等材料复合制成,代号 M)。

1.3 试验方法

1.3.1 试验设计 2007~2008 年,试验采用正交设

计,多排式顺序排列,设 4 因子 3 水平共 9 个处理,重复 4 次,共 36 个小区。每个小区长 9.2 m,宽 3.8 m,面积 35 m²。灌水量设三个水平:不灌水、灌 1 水(3 月 12 日)及灌两水(5 月 4 日)。按照 L9(3⁴)正交表设计组合为:(1) A1+B1+C1+D1,(2) A1+B2+C2+D2,(3) A1+B3+C3+D3,(4) A2+B1+C2+D3,(5) A2+B2+C3+D2,(6) A2+B3+C1+D2,(7) A3+B1+C3+D2,(8) A3+B2+C1+D3,(9) A3+B3+C2+D1,共 9 个组合。

表 1 2007~2008 年试验因素及水平

Table 1 Experiment factors and levels from 2007~2008

| 因子 Factors | 试验水平 Experiment level | | |
|--|--------------------------------------|-----------------------------------|------------------------------------|
| | 1 | 2 | 3 |
| A 品种 Variety | 小偃 22 Xiaoyan 22 | 西农 2000 Xinong 2000 | 西农 979 Xinong 979 |
| B 秸秆配方(J) Formula of straw | 化肥 Fertilizer 450 kg/hm ² | 配方 Formula 750 kg/hm ² | 配方 Formula 1125 kg/hm ² |
| C 废料配方(M) Formula of waste | 化肥 Fertilizer 450 kg/hm ² | 配方 Formula 750 kg/hm ² | 配方 Formula 1125 kg/hm ² |
| D 灌水量 Irrigation amount (m ³ /hm ²) | 0 | 600 | 1200 |

2008~2009 年,在前一年所得结果的基础上综合考虑产量及产投比,选定小麦品种为小偃 22,扩蓄增容肥施用量为 750 kg/hm²,采用裂区方法布置试验,主区为灌水,裂区为不同施肥处理,旨在进一步验证最优的配方与灌水方案。试验设灌水及扩蓄增容肥配方两个因素,灌水设灌 2 水与灌 3 水 2 个水平,扩蓄增容肥配方设计与上一年相同。试验采用随机区组排列,重复 3 次,小区面积 222 m²。

1.3.2 取样及测定方法

1.3.2.1 灌水量及土壤水分的测定 根据水泵出水量及灌水时间控制每次灌水量,水管直接通至每小区。小麦每个生育期,取 10 cm、30 cm 及 60 cm 土样,利用烘干法测得土壤含水量。土壤蓄水量按

下式计算:

$$W_c = 10R \times V \times H$$

式中, W_c 为土壤蓄水量(mm); R 为土壤质量含水率(%); V 为土壤体积质量(g/cm³); H 为土层厚度(cm)。

1.3.2.2 产量及水分利用效率的计算 小麦成熟后各小区单收称重,各小区随机割取 1 m² 进行考种,调查有效穗数、每穗麦粒数、结实率和千粒重。收获时按小区计算产量,根据小麦产量和生育期耗水量计算水分利用效率。按照田间水分平衡方程计算冬小麦全生育期的耗水量 WU 。

$$WU = P + I + \Delta W$$

式中, P 为生育期降水量(mm); I 为生育期内灌溉量

(mm); ΔW 为土壤供水量,即播前与收获两时段 0 ~ 60 cm 土壤贮水量的差值(mm)。本研究中,地下水水位埋藏较深,忽略其补给。

$$WUE = Y/WU$$

式中, WUE 为水分利用效率[$\text{kg}/(\text{hm}^2 \cdot \text{mm})$]; Y 为产量(kg/hm^2); WU 为耗水量(mm)。

表 2 2008~2009 年试验因素及水平

Table 2 Experiment factors and levels from 2008~2009

| 灌溉次数 Irrigation times | 灌溉时期(M-d) Irrigation time | 灌溉量(mm) Irrigation amount | 肥料类型及用量 Fertilizer types and amount |
|-------------------------------|------------------------------|------------------------------|--|
| 灌二水 Irrigation twice | 播种期 Seeding time (11-05) | 60 | 常规施肥 NF 750 kg/hm^2 |
| | 拔节期 Jointing stage (04-12) | 60 | 废料配方 M 750 kg/hm^2 秸秆配方 J 750 kg/hm^2 |
| 灌三水 Irrigation three times | 播种期 Seeding time (11-05) | 60 | 常规施肥 NF 750 kg/hm^2 |
| | 拔节期 Jointing stage (04-12) | 60 | 废料配方 M 750 kg/hm^2 |
| | 灌浆期 Filling stage (05-15) | 60 | 秸秆配方 J 750 kg/hm^2 |

注:表中土壤扩蓄增容肥 100% 施量 750 kg/hm^2 (其中尿素质量分数占总质量的 10%, 磷酸二铵占总质量的 20%, 硫酸钾占总质量的 10%); 常规肥料 100% 施量为:尿素 375 kg/hm^2 , 磷酸二铵 375 kg/hm^2 。

Note: The 100% application rate of amendment fertilizer is 750 kg/hm^2 (including 10% urea, 20% diammonium phosphate and 10% potassium sulfate); The 100% application rate of normal fertilizer is urea 375 kg/hm^2 , diammonium phosphate 375 kg/hm^2 .

1.3.3 统计分析 采用 Excel 软件进行差异比较, 用 SPSS 统计分析软件对试验数据进行显著性分析。

2 结果与分析

2.1 产量分析

两个年度的冬小麦产量分析结果如表 3 和表 4。由表 3 知,各试验因素对产量的影响效应依次为小麦品种 > 灌水量 > 肥料种类 > 施肥量。分析表明:不同小麦品种、灌水量、秸秆配方施肥量对作物产量的影响均达极显著水平,而废料配方施肥量的大小对产量的影响不显著。

2.1.1 品种及灌水量效应分析 由表 3 可知,小偃 22 的产量显著高于西农 2000 和西农 979,其产量较西农 979 与西农 2000 分别增产 15.85% 与 11.41%。灌水量对冬小麦产量影响显著:在低、中量灌水处理时小偃 22 的产量分别较无灌水处理提高 21.2% 和 16.5%,西农 2000 分别提高了 11.2% 和 4.7%,西农 979 在低灌水处理相比于无灌溉处理仅增产 2.8%,高灌水处理下的冬小麦产量相比无灌溉处理无显著增加,这可能是该年小麦生长季降雨量较大,灌水定额应较常年小^[9]所致。

表 3 2007~2008 年不同处理组合下冬小麦产量结果

Table 3 Yields of winter wheat under different treatments from 2007~2008

| 处理组合 Treatment combination | 试验因子 Experiment factors | | | | 产量 Yield (kg/hm^2) |
|----------------------------------|-------------------------|-------------|-------------|----------------------------|--|
| | A 品种 Varieties | B 秸秆配方 J | C 废料配方 M | D 灌水量 Irrigation amount | |
| 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 8004.0bc |
| 2 | 1 | 2 | 2 | 2 | 9326.1a |
| 3 | 1 | 3 | 3 | 3 | 9701.3a |
| 4 | 2 | 1 | 2 | 3 | 8039.7bc |
| 5 | 2 | 2 | 3 | 1 | 7682.4c |
| 6 | 2 | 3 | 1 | 2 | 8540.0b |
| 7 | 3 | 1 | 3 | 2 | 7932.6c |
| 8 | 3 | 2 | 1 | 3 | 7682.4c |
| 9 | 3 | 3 | 2 | 1 | 7718.1c |
| K1 | 9010.5aA | 7992.2bB | 8075.4bA | 7801.5bB | |
| K2 | 8087.4bB | 8230.4bAB | 8361.3abA | 8599.5aA | |
| K3 | 7777.7bB | 8653.2aA | 8438.7aA | 8474.4aA | |
| R | 1232.7 | 661.1 | 363.3 | 798.0 | |

表 4 2008~2009 年不同处理冬小麦产量

Table 4 Yield of winter wheat under different treatments from 2008~2009

| 处理 Treatments | 灌 2 水 Irrigation twice | | 灌 3 水 Irrigation three times | |
|------------------|-------------------------------|-------------------|-------------------------------|-------------------|
| | 产量 Yield(kg/hm ²) | 增产 Yield increase | 产量 Yield(kg/hm ²) | 增产 Yield increase |
| 常规施肥 NF | 6526.60c | — | 5476.07c | — |
| 秸秆配方 J | 8284.14a | 26.93% | 7103.55a | 29.72% |
| 废料配方 M | 7680.51b | 17.68% | 6376.52b | 16.44% |

注:同列不同小写字母表示差异显著($P < 0.05$)。

Note: Different letters in the same row mean significant difference at 0.05 level among treatments.

对 2008~2009 年的不同灌水处理下的试验结果进行均值 T 检验,结果表明:无论何种施肥方式,小麦生长期灌水 $1800 \text{ m}^3/\text{hm}^2$ 处理的小麦产量均显著低于灌水 $1200 \text{ m}^3/\text{hm}^2$ 处理的;随着灌水量的增加,常规施肥、秸秆配方和废料配方的产量分别降低 16.1%、14.3% 和 17.1%,灌水量的增加对作物产量产生负效应,这与 2007~2008 年试验结果一致。

2.1.2 肥料效应分析 2007~2008 试验年度的结果(表 3)表明:土壤扩蓄增容肥在低施量下对产量的影响与对照无显著差异,这可能是因为低施量下土壤扩蓄增容肥中的无机组分含量过低所致。施用 J 肥 $1125 \text{ kg}/\text{hm}^2$ 水平下的平均产量为 $8653.2 \text{ kg}/\text{hm}^2$,显著高于其他两种处理,该水平下的无机肥料含量仅为常规施肥量的 70%,但产量较常规施肥处理增加了 8.3%;随着 J 肥施用量的增大,增产效果显著,肥料施用量增加 50%,其产量增幅达 5.14%,而 M 肥仅为 0.93%。2008~2009 试验年度的结果(表 4)表明:高、低灌水情况下 J 肥与 M 肥的小麦产量均高于对照,且 J 肥处理小麦产量均显著高于 M 肥处理。灌水 120 mm 与 180 mm,秸秆配方与废料配方在减少无机化肥用量 30% 的情况下,小麦产量分别比常规施肥高 26.93%、17.68% 和 29.42%、17.44%。

2.2 不同肥料处理对土壤水分动态变化的影响

2.2.1 不同配方土壤扩蓄增容肥在小麦生长过程中对土壤水的调控作用 2007~2008 年通过正交试验将不同肥料按设计的比例混合,旨在研究不同配方土壤扩蓄增容肥在小麦生长过程中对土壤水的调控作用。

由图 2 可知:苗期 M 肥占较大比例的 3、4、7 处理土壤表层水分较以 J 肥为主的 6、8、9 处理含水量分别提高了 8.39 mm、4.38 mm、5.42 mm,下层水分则分别减少了 5.03 mm、13.69 mm、8.14 mm;在 J 肥占较大比例的 6、8、9 处理中,土壤水分含量变化较小,耕作层土壤水分较低,而 0~80 cm 土层土壤含水量高于其他处理。这可能是由于秸秆配方吸水性

强,且在土壤中溶解运移均匀所致^[10]。

返青期 J 肥占较大比例的处理水分变化较小,且表层土壤含水量较高;M 肥占较大比例的处理表层土壤含水量较低,深层土壤含水量则较高。由于该时段棵间蒸发对土壤蓄水量变化影响较大^[11,12],可知 J 肥对小麦冬歇期间土壤水分的保蓄有积极作用。

灌浆期末进行补水的处理,表层及下层土壤含水量均较低。在低灌水量的 5、6、7 处理中,J 肥处理土壤含水量均高于 M 肥处理;而在高灌水量的 3、4、8 处理中,J 肥处理土壤表层含水量略高于 M 肥处理,但其深层土壤含水量低于 M 肥处理。低灌水量处理土壤表层含水量高于高灌水量处理,由此可知秸秆配方土壤扩蓄增容肥能够在小麦需水关键期有效保蓄水分,促进作物对耕作层土壤水分的利用,减少水分下渗,而高灌水处理水分下渗较明显,不利于作物对水分的有效利用。

2.2.2 不同灌水及肥料处理对不同深度土壤蓄水量的影响 2008~2009 年通过裂区试验设置不同水肥处理,旨在研究不同配方土壤扩蓄增容肥在高、低灌水方案下对不同深度土层土壤蓄水量的影响。

低灌水处理各土层蓄水量差异主要存在于 0~20 cm 土层(见图 3)。J 肥处理在小麦生长期能显著提高 0~20 cm 土层蓄水量,分别较废料配方处理、常规施肥处理高 41.49 mm、31.65 mm。拔节期后,J 肥处理 0~20 cm 土壤蓄水量略有上升,而其余处理土壤蓄水量则呈下降趋势。

高灌水处理情况下,J 肥处理 0~20 cm 土壤蓄水量在分蘖期与拔节期较 M 肥与常规施肥处理降低较快(见图 4a);J 肥处理分蘖期该层蓄水量较 M 肥与常规施肥分别多减少了 11.24 mm 与 12.02 mm,而拔节期以后至收获则分别多减少了 12.27 mm 与 18.03 mm。40~80 cm 土壤蓄水量大小依次为常规施肥处理>M 肥处理>J 肥处理,前两者 40~80 cm 土壤蓄水量分别比 J 肥处理高 49.41 mm 与 21.92 mm,这可能是由于小麦生长期 J 肥将降水与

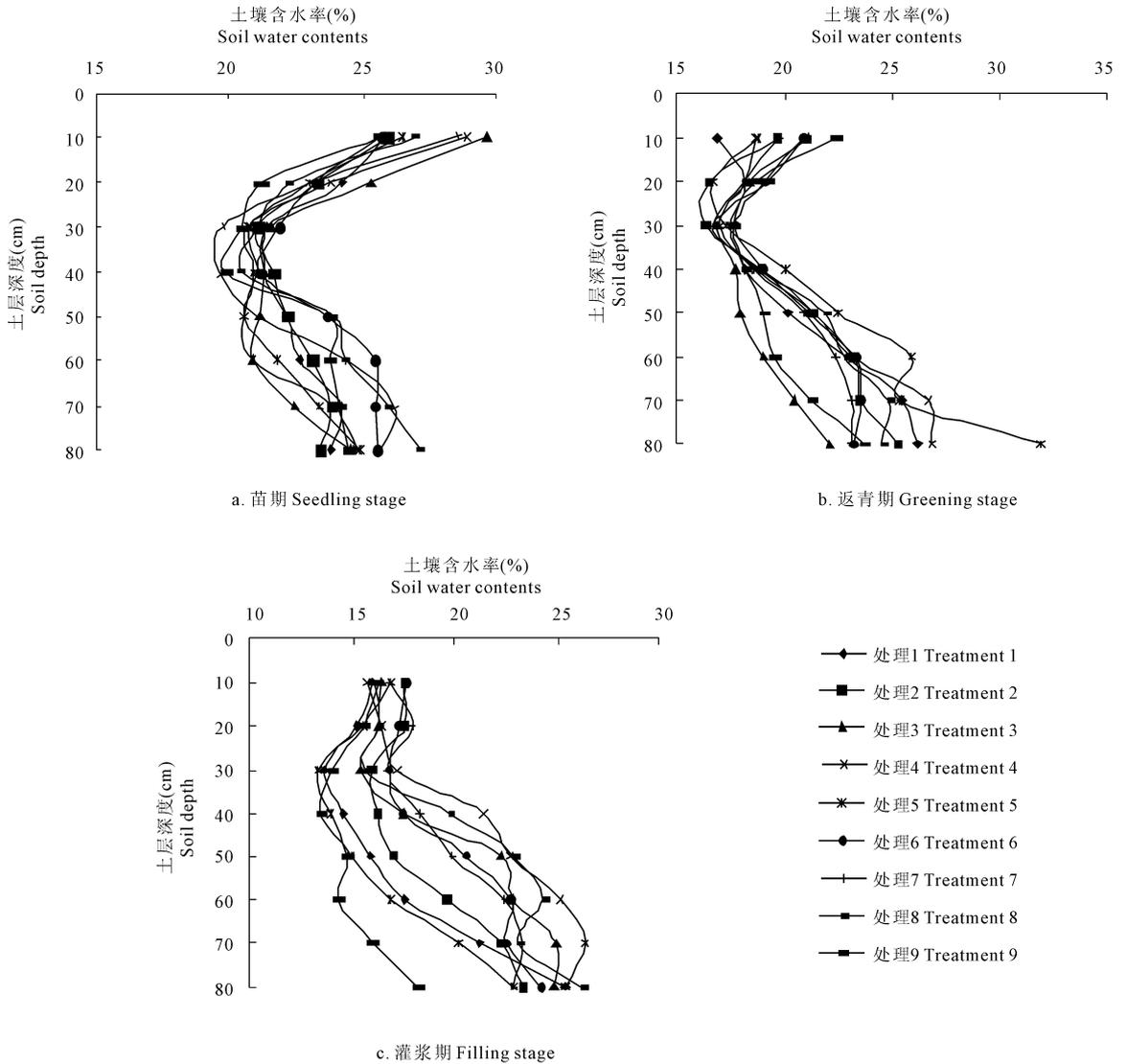


图 2 小麦各生育期各处理土壤水分剖面分布

Fig. 2 Soil water content of different treatments in different winter wheat stages

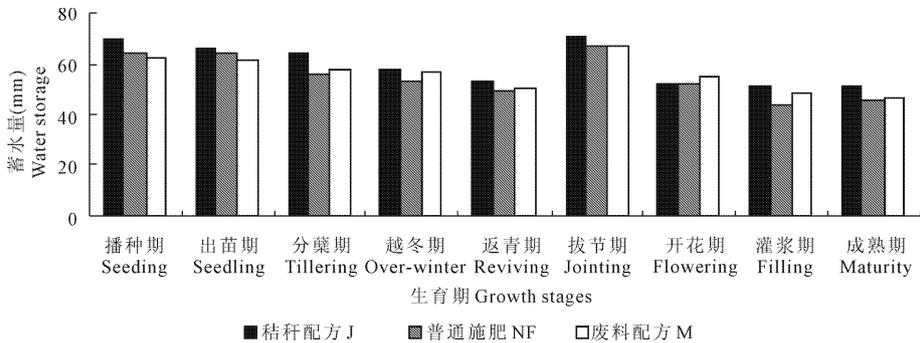


图 3 低灌水量下不同施肥处理 0~20 cm 土层蓄水量

Fig. 3 Soil water storage of 0~20 cm under different fertilizer treatments at low irrigation

灌水保蓄在土壤上层所致(见图 4b)。从小麦生长期蓄水量可知,高灌水与低灌水其作物耗水量的区别主要体现在小麦的灌浆期以后,高灌水处理下的小麦在灌浆后期耗水较多,而拔节期耗水对小麦

生长的影响最为显著^[3],水分胁迫致使叶片同化物产量减少,促进茎鞘干物质向籽粒调运^[4],故在灌浆期灌水并不能增加小麦产量。

2.3 不同水肥处理下的小麦水分利用效率分析

2.3.1 不同肥料处理对水分利用效率的影响 不同灌水下各施肥处理的水分利用效率见表 5。由表 5 知,品种和灌水量对小麦 WUE 影响明显,小偃 22 品种小麦的 WUE 明显较西农 2000 和西农 979 为高,且随着灌水量的增加,小麦水分利用效率显著降

低。由 6、8、9 处理可知,随着灌水量的增大 J 肥处理小麦 WUE 逐渐降低,且降低幅度随着灌水量的增大呈增大趋势;由 3、4、7 可知随着灌水量的增大 M 肥处理小麦 WUE 差异不明显,且低于秸秆配方处理。

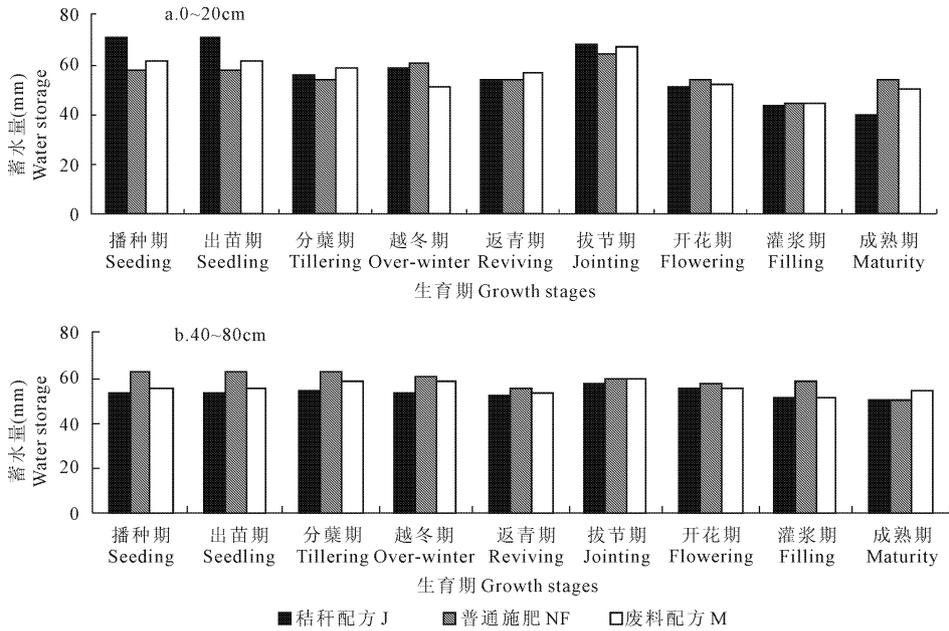


图 4 高灌水量不同施肥处理各土层蓄水量

Fig. 4 Soil water storage under different fertilizer treatments at high irrigation

表 5 2008~2009 年不同处理冬小麦 WUE

Table 5 WUE of winter wheat under different treatments from 2008~2009

| 年份 Year | 处理 Treatments | 生育期降水 Precipitation (mm) | 灌水量 Irrigation amounts (mm) | 土壤供水量 Water supply content of soil (mm) | 耗水量 Water consumption (mm) | 作物产量 Yield (kg/hm ²) | 水分利用效率 WUE [kg/(hm ² ·mm)] | |
|------------|----------------------------|--------------------------------|--------------------------------------|--|-------------------------------------|--|---|--------|
| 2007~2008 | 1 | 158.50 | 0.00 | 192.94 | 351.44 | 8004.00 | 22.77a | |
| | 2 | 158.50 | 59.97 | 186.19 | 404.66 | 9326.10 | 23.05a | |
| | 3 | 158.50 | 119.94 | 192.84 | 471.28 | 9701.30 | 20.59bc | |
| | 4 | 158.50 | 119.94 | 183.15 | 461.59 | 8039.70 | 17.42d | |
| | 5 | 158.50 | 0.00 | 190.05 | 348.55 | 7682.40 | 22.04ab | |
| | 6 | 158.50 | 59.97 | 190.84 | 409.31 | 8540.00 | 20.86bc | |
| | 7 | 158.50 | 59.97 | 190.25 | 408.72 | 7932.60 | 19.41c | |
| | 8 | 158.50 | 119.94 | 190.97 | 469.41 | 7682.40 | 16.37d | |
| | 9 | 158.50 | 0.00 | 191.52 | 350.02 | 7718.10 | 22.05ab | |
| 2008~2009 | 低灌水量 Low irrigation | 常规施肥 NF | 242.80 | 120.00 | 44.69 | 407.49 | 6526.6 | 16.5c |
| | | 秸秆配方 J | 242.80 | 120.00 | 45.24 | 408.04 | 8284.14 | 20.25a |
| | | 废料配方 M | 242.80 | 120.00 | 39.23 | 402.03 | 7680.51 | 19.05b |
| | 高灌水量 High irrigation | 常规施肥 NF | 242.80 | 180.00 | 21.29 | 444.09 | 5476.07 | 12.3c |
| | | 秸秆配方 J | 242.80 | 180.00 | 41.34 | 464.14 | 7103.55 | 15.3a |
| | | 废料配方 M | 242.80 | 180.00 | 20.75 | 443.55 | 6376.52 | 14.4b |

2008 年 2 月 29 日 的试验结果表明:低灌水下,J

肥处理的 WUE 较 M 肥与常规施肥高 6.3% 和

22.73%,高灌水下则分别高出6.25%和17.07%。在低灌水量下,J肥处理小麦WUE较高灌水处理提高幅度最大,为32.4%,比M肥处理(32.3%)和普通施肥处理(30.5%)高。J肥处理低灌水下较其余处理的耗水减少20 mm左右;其产量较高灌水处理增加了1 180.59 kg/hm²,高于普通施肥的1 050.53 kg/hm²,但低于M肥处理的1 303.99 kg/hm²,所以J肥处理的WUE提高幅度与M肥相差不大,但显著大于普通施肥处理。这与谷洁^[15]等利用农业废弃物制成有机无机肥作用于小麦得出的结论相一致。

3 讨论与结论

1) 关中泾惠灌区,小偃22的产量和水分利用效率均较西农2000及西农979的高。小麦拔节期灌水60 mm处理下的产量较拔节、灌浆期均灌水60 mm处理下的高。灌浆期灌水并不能显著增加冬小麦产量,这可能是由于灌浆期灌水使小麦千粒重减小所致。

2) 秸秆配方的土壤扩蓄增容肥节水增产效应优于废料配方与常规施肥;在灌水120 mm与180 mm条件下,秸秆配方与废料配方的土壤扩蓄增容肥在减少无机化肥用量30%的前提下,其小麦产量分别比常规施肥高出26.93%、17.68%和29.42%、17.44%,其水分利用效率则分别高出24.39%、17.07%和26.17%、18.69%。这与谷洁^[15]等利用农业废弃物制成有机无机肥作用于小麦得出的结论相一致。

3) 秸秆配方较废料配方的土壤扩蓄增容肥能更好地抑制土壤水分无效蒸发,将水分保蓄在土壤0~20 cm土层中,在降雨或灌水后,秸秆配方能有效减少水分渗漏。空间调水的过程导致其保证了小麦在关键需水期的耗水^[16,17],从而更好地在空间和时间上发挥了土壤水库的作用。通过从小麦生长期耗水量可知,灌浆期灌水并不能增加小麦产量。秸秆配方在低灌水下能提高小麦营养生长期耗水,所以秸秆配方的土壤扩蓄增容肥在空间上调节土壤水分的同时,也使土壤保证了在小麦关键需水期的供水,这对干旱期小麦的生长与增产是有利的^[18]。

参考文献:

- [1] 山 仑.植物抗旱生理研究与发展半旱地农业[J].干旱地区农业研究,2007,25(1):1—5.
- [2] 山 仑,邓西平,康绍忠.我国半干旱地区农业用水现状及发展方向[J].水利学报,2002,(9):27—31.
- [3] 杨兴明,徐阳春,黄启为,等.有机(类)肥料与农业可持续发展和生态环境保护[J].土壤学报,2008,9(2):925—932.
- [4] 庄文化,吴普特,冯 浩,等.土壤中施用聚丙烯酸钠保水剂对冬小麦生长及产量影响[J].农业工程学报,2008,24(5):37—41.
- [5] 段喜明,吴普特,王春红,等.人工降雨条件下施加粉煤灰对耕作土壤结构和水土流失的影响研究[J].农业工程学报,2006,22(8):50—53.
- [6] 杨渤京.农业固体废物堆肥生产复混肥的工艺试验研究[J].环境科学,2006,27(7):1464—1468.
- [7] 吴普特.雨水资源化与现代节水农业[J].中国农业科技导报,2007,9(1):15—20.
- [8] 王 珍,冯 浩,杜 健,等.土壤扩蓄增容肥对春玉米产量及水分利用效率的影响[J].农业工程学报,2009,25(11):114—119.
- [9] 李科江,李志宏,李记彬,等.不同降雨年型冬小麦生长前期的田间水量平衡与节水灌溉[J].中国农业大学学报,1997,2(增刊):107—110.
- [10] 张 燕.新型土壤结构改良剂水分特性及其对玉米苗期的影响研究[J].节水灌溉,2008,(5):6—9.
- [11] 陈素英,陈四龙,张喜英,等.种植行距对冬小麦田土壤蒸发和水分利用的影响[J].中国生态农业学报,2006,14(3):86—89.
- [12] 陈晓远,罗远培.土壤水分变动对冬小麦干物质分配及产量的影响[J].中国农业大学学报,2001,6(1):96—103.
- [13] 孙宏勇,刘昌明,张喜英,等.不同行距对冬小麦田蒸发、蒸散和产量的影响[J].农业工程学报,2006,22(3):22—26.
- [14] Cruz~A guado J A, Rosa R, Isel P P, et al. Morphological characteristics and yield components associated with accumulation and loss of dry mass in the internodes of wheat [J]. Field Crop Research, 2000, 66:129—139.
- [15] 谷 洁,高 华,李鸣雷,等.有机无机复混肥对冬小麦产量及其水分利用效率的影响[J].西北农林科技大学学报(自然科学版),2004,32(2):65—68.
- [16] 刘庚山,郭安红,安顺清,等.开发利用土壤深层水资源的一种有效途径——“以肥调水”的大田试验研究[J].自然资源学报,2002,17(4):423—429.
- [17] 邵长发,郑 安,林启瑞,等.全方位深松在农业可持续发展中的作用研究[J].农业机械学报,1999,30(5):81—85.
- [18] 陈晓远.土壤水分变动对冬小麦生长动态的影响[J].中国农业科学,2001,34(4):403—409.

(英文摘要下转第132页)

- 候变化[J].第四纪研究,2006,26(6):969—975.
- [12] Huang C C, Pang J L, Zhao J B. Chinese loess and the evolution of the East Asia monsoon [J]. *Progress in Physical Geography*, 2000, 24:75—96.
- [13] 庞奖励,黄春长,张占平.陕西岐山黄土剖面 Rb,Sr 组成与高分辨率气候变化[J].沉积学报,2001,19(4):637—641.
- [14] 王新,周启星.土壤重金属污染生态过程、效应及修复[J].生态科学,2004,23(3):278—281.
- [15] 卢瑛,龚子同,张甘霖.南京城市土壤中重金属的化学形态分布[J].环境化学,2003,22(2):131—136.
- [16] 张彩云,庞奖励,申海元,等.人工苹果园持续时间对土壤重金属分布的影响[J].干旱区地理,2010,33(2):164—169.

Distribution characteristics of heavy metals in the Holocene profile and its environmental changes in eastern Guanzhong

WANG Li-juan, PANG Jiang-li, HUANG Chun-chang, DING Min, LI Yan-hua, NIU Xiao-lu
(College of Tourism and Environmental Sciences, Shaanxi Normal University, Xi'an, Shaanxi 710062, China)

Abstract: Based on the Holocene loess-soil profile in eastern Guanzhong, we analyzed the content and distribution of Ni, Mn, Cu, Zn, Nb, As, Ti, V, Co and Pb at TSG site and compared with magnetic susceptibility and Rb/Sr. The results showed that the changes of Ni, Cu, As, V, Mn, Zn and Nb were affected by climate change and its pedogenesis environment, Co was contacted closely with soil parent materials, and the sensitivity of Pb into its pedogenesis environment was poor. In the stage of paleosol period in eastern Guanzhong, the content of soil heavy metals was increased significantly, the warm and humid climate during this period, strong pedogenesis making some soluble elements migration and leaching, leading to relative enrichment of heavy metals in the paleosol.

Keywords: heavy metal; Holocene; eastern Guanzhong

(上接第 87 页)

Effects of soil amendment fertilizers on yield and water use efficiency of winter wheat

ZHOU Li-feng^{1,3}, FENG Hao^{1,2}, DU Jian²

(1. Research Center of Soil and Water Conservation and Ecological Environment, Chinese Academy of Sciences, Yangling, Shaanxi 712100, China; 2. Institute of Soil and Water Conservation, Northwest A & F University, Yangling, Shaanxi 712100; 3. Graduate University, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China)

Abstract: Reasonable irrigation and fertilization are the key factors of production of winter wheat. This study is aimed at providing the scientific foundation for expanding the application of soil amendment fertilizers. A two year experiment (2007~2009) was conducted to study the wheat yield and water use efficiency (WUE) under three varieties, kinds of irrigation and fertilizer treatments. The results are as follows: (1) Yield of winter wheat Xiaoyan 22 is respectively 11.41% and 15.85% higher than Xinong 979 and Xinong2000. (2) At low irrigation condition, AFS can sustain soil water at tilth (especially after flowering stage), the water storage of tilth is respectively 41.49 mm and 31.65 mm higher than AFW and normal fertilizer treatment (NFT); at high irrigation treatment, AFS inhibits soil water infiltration to ensure water supply in the high water consumption stage as seedling and jointing stage to promote wheat growth and WUE. (3) Irrigating 120 mm and 180 mm, in the case of reducing 30% usage of chemical fertilizer, the wheat yield of AFS and AFW are respectively 26.93%, 17.68% and 29.42%, 17.44% higher than normal fertilizer treatment; WUE are respectively 24.39%, 17.07% and 26.17%, 18.69% higher than normal fertilizer treatment. The conclusions are as follows: (1) Winter wheat Xiaoyan 22 is the advantageous breed for water-saving irrigation in Guanzhong Irrigation District. (2) Amendment fertilizer of straw formula (AFS) can regulate soil water supply more efficiently than waste formula (AFW) and make soil sustain precipitation and irrigation effectively. (3) AFS has the optimum effect in saving water and increase yield of winter wheat.

Keywords: 土壤数据 amendment fertilizer; winter wheat; WUE; soil moisture content