

黄土塬区春玉米氮肥—水分—产量关系研究

杨忠浩¹, 党廷辉^{1,2}, 路远¹, 吴三鼎^{2,3}, 郑利芳^{2,3}

(1.西北农林科技大学资源环境学院,陕西 杨凌 712100;2.中国科学院水利部水土保持研究所,
陕西 杨凌 712100;3.中国科学院大学,北京 100049)

摘要: 土壤水分是制约我国西北干旱半干旱地区农业发展的重要因素,探寻科学合理的氮肥—水分—产量关系,对于促进区域农业持续发展有重要的理论与实践意义。在陕西省长武县的中国科学院长武黄土高原农业生态试验站进行氮肥递减试验,在传统施氮 250 kg/hm² (N₆)的基础上,依次递减 20%,设置 CK、N₁、N₂、N₃、N₄、N₅、N₆ 7 个处理。结果表明:(1)春玉米生育期土壤耗水量随氮肥施用量的增加而增加,土壤水分亏缺主要发生在 80 cm 以下土层,且水分亏缺程度随施氮量增加而加重。(2)春玉米产量和水分利用率均随氮肥用量的增加呈现二次抛物线趋势变化。春玉米传统施氮量(N₆, 250 kg/hm²)已严重过量,减氮 20%(N₅, 施氮量 200 kg/hm²)可以取得较高的产量和水分利用率。2 年 N₅ 籽粒产量较 N₆ 分别增加 9.6% 和 5.8%,水分利用率提高 14.5% 和 9.1%。因此,建议把减氮 20%(N₅, 即 200 kg/hm² 施氮量)作为试验区推荐施氮量。

关键词: 黄土高原; 春玉米; 施氮量; 产量; 水分利用

中图分类号: S143.1; S513

文献标识码: A

文章编号: 1009-2242(2020)04-0237-04

DOI: 10.13870/j.cnki.stbcxb.2020.04.035

Study on the Relationship Between Nitrogen Fertilizer-Water-Yield of Spring Maize in the Loess Plateau

YANG Zhonghao¹, DANG Tinghui^{1,2}, LU Yuan¹, WU Sanding^{2,3}, ZHENG Lifang^{2,3}

(1.College of Natural Resources and Environment, Northwest A&F University,

Yangling, Shaanxi 712100; 2.Institute of Soil and Water Conservation, CAS, MWR,

Yangling, Shaanxi 712100; 3.University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049)

Abstract: Soil moisture is an important factor restricting agricultural development in arid and semi-arid regions of northwest China. It is of great theoretical and practical significance to explore a scientific and reasonable relationship between nitrogen fertilizer, water and yield for promoting the sustainable development of regional agriculture. At the Changwu Loess Plateau Agro-ecological Experiment Station of the Chinese Academy of Sciences in Changwu County, Shaanxi Province, a nitrogen fertilizer decline test was performed. Based on the traditional nitrogen application of 250 kg/hm² (N₆), it was reduced by 20% in order. Set CK, N₁, N₂, N₃, N₄, N₅, N₆ seven processes. The results showed that: (1) The soil water consumption during the growth period of spring corn increases with the increase of nitrogen fertilizer application. The soil water deficit mainly occurs below 80 cm of soil layer, and the degree of water deficiency increases with the increase of nitrogen fertilizer application. (2) Both the yield and water use efficiency of spring corn showed a second parabolic trend with the increase of nitrogen fertilizer use. The traditional nitrogen application rate of spring corn (N₆, 250 kg/hm²) has been severely excessive, and a reduction of 20% (N₅, nitrogen application rate of 200 kg/hm²) can achieve higher yield and water use efficiency. Compared with N₆, N₅ grain output increased by 9.6% and 5.8%, and water use efficiency increased by 14.5% and 9.1%. Therefore, it is recommended to reduce nitrogen by 20% (N₅, 200 kg/hm² nitrogen application rate) as the recommended nitrogen application rate.

Keywords: Loess Plateau; spring maize; N application; yield; water use

收稿日期: 2020-01-13

资助项目: 国家重点研发计划项目(2016YFC0501602, 2016YFD0800105)

第一作者: 杨忠浩(1995—), 男, 硕士研究生, 主要从事土壤化学与环境研究。E-mail: 995018017@qq.com

通信作者: 党廷辉(1964—), 男, 博士, 研究员, 主要从事土壤化学与环境研究。E-mail: dangth@ms.iswc.ac.cn

土壤水分是制约我国西北干旱半干旱地区农业发展的重要因素,水对作物生长具有不可替代的作用^[1-2]。一些学者^[3]认为,供水短缺和土壤养分缺乏是旱作生产的 2 大制约因子。有研究^[4]表明,当肥料投入达到一定量的时候,农田生产力的限制因子由土壤肥力变为土壤水分。在旱地农业系统中增加氮肥的施用可提高作物产量,但是氮肥的大量施用也增加了 0—200 cm 土壤不同层次的土壤水分消耗^[5-7]。肥料的长期施用,加大了作物对土壤水库的耗竭,土壤水库的库容不能在作物收获后得到很好的恢复^[8-11]。长此以往,必将影响到作物的生长。

西北干旱半干旱地区如何在保证产量的情况下减少肥料投入,提高作物水分利用效率是当地农业发展的关键。现有研究大多关注于如何提高氮肥利用率和减少氮素损失,但关于氮肥—水分—产量关系研究较少。因此,本研究以传统施氮为基础,采用氮肥递减的施氮方式,分析在不同氮肥用量下土壤剖面水分含量、土壤耗水量及水分利用效率的变化,为寻找区域农田合理施氮量、提高作物水分利用率和促进农业持续发展提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验地概况

试验布设在陕西省长武县的中国科学院长武黄土高原农业生态试验站,该站位于黄土高原南部沟壑

区的陕西省长武县境内塬面上(107°40'E,35°12'N),海拔 1 220 m,属典型的雨养农业区。试验所在地为半干旱湿润性季风气候,根据长武县气象局资料统计,1985—2016 年均降水量为 560 mm,其中最高年份为 954 mm,最低年份为 296 mm。7—9 月降水量占年总量的 57%。年平均气温 9.2℃,≥10℃积温为 3 029℃,年日照时间 2 230 h,日照率为 51%,年辐射总量为 484 kJ/cm²,无霜期 171 d,无灌溉条件,属于典型的雨养农业区。

土壤为黏壤质黑垆土,母质为黏壤质马兰黄土,土层深厚,土质疏松。试验开始年份耕层土层有机碳含量 6.5 g/kg,全氮含量 0.8 g/kg,速效磷含量 5.0 mg/kg,pH 8.4,碱解氮含量 37.0 mg/kg,速效钾含量 129.3 mg/kg,碳酸钙含量 10.5%,黏粒含量(<0.002 mm)24%,沙粒含量 8%,粉粒含量 71%。土壤氮磷含量比较低,钾含量丰富,容重为 1.3 g/cm³,土壤田间持水量 21.0%~23.8%。凋萎含水量 9%~12%。

1.2 试验设计

本试验地是在前 5 年种植玉米不施氮肥、土壤氮素水平较低的基础上开展的。试验实施期为 2017—2018 年,其中 2017 年玉米生育期为 4 月 26 日至 9 月 24 日,2018 年玉米生育期为 4 月 26 日至 9 月 28 日。玉米生育期各月降雨分布情况见表 1。玉米采用半地膜种植模式,膜宽 80 cm,玉米行距 60 cm,株距 30 cm。

表 1 玉米生育期降水量分布情况								单位:mm
年份	4 月	5 月	6 月	7 月	8 月	9 月	合计	全年降水量
2017	0	52.6	107.2	41.0	149.4	18.2	368.4	560.4
2018	0	45.0	62.8	191.8	105.4	74.6	479.6	586.4

在传统施氮 250 kg/hm² 水平基础上,依次减氮 20%为间距,形成 6 个施氮水平,分别为 80,100,130,160,200,250 kg/hm²,另设不施氮肥对照 1 个;施磷肥(P₂O₅)120 kg/hm²;施钾肥(K₂O)38 kg/hm²(表 2)。CK、N1、N2、N3、N4 处理小区面积为 16.5 m²(3.0 m×5.5 m),N5、N6 处理小区面积为 46.75 m²(8.5 m×5.5 m),小区间距 0.5 m。采取随机区组排列,重复 3 次。氮肥为普通尿素(N 46.4%),磷肥为过磷酸钙(P₂O₅ 16%),钾肥为硫酸钾(K₂O 51%),均于播种前,均匀撒施在土壤表面后经人工翻入 0—20 cm 土壤。

1.3 水分测定与计产方法

水分测定:黄土高原玉米根系分布在 200 cm 以内,作物耗水主要集中在 200 cm 土层,故分别于播种前与收获后 1~2 天采样,钻取 0—200 cm 土壤样品,0—100 cm 土层每 10 cm 采 1 个混合土样,100—200 cm 土层每 20 cm 采 1 个混合土样(混合土样是指将所取 20 cm 土层土样混合均匀后,取部分土壤测定土

壤含水量,每小区取 1 个样),采用烘干法^[12]测定土壤含水量。

产量测定:玉米收获时,每个小区收获中间 1/3 面积玉米,进行考种,计算产量。

表 2 试验各处理氮肥、磷肥、钾肥用量				单位:kg/hm ²
处理	N	P	K	
CK	0	120	38	
N1	80	120	38	
N2	100	120	38	
N3	130	120	38	
N4	160	120	38	
N5	200	120	38	
N6	250	120	38	

1.4 参数计算公式

(1)土壤含水量: $\theta = (\text{土壤鲜质量} - \text{烘干土质量}) / \text{烘干土质量} \times 100\%$

(2)土壤储水量: $W = h \times a \times \theta \times 10$
式中:W 为土壤储水量(mm);h 为土层深度(cm);a

为土壤容重(g/cm^3); θ 为土壤质量含水量(%).

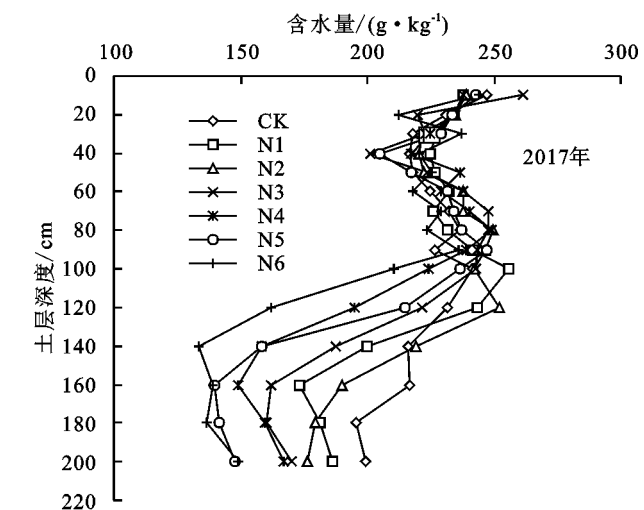
(3)土壤耗水量: $\triangle W=W1-W2$
式中: $\triangle W$ 为土壤耗水量(mm); $W1$ 为播前土壤储水量(mm); $W2$ 为收获期土壤储水量(mm).

(4)作物耗水量: $ET=\triangle W+P$
式中: ET 为作物生育期耗水量(mm); P 为作物生育期降雨量(mm). 在本试验地块很少发生地表径流,水分入渗深度一般在根层以内,无灌溉条件,地下水位很深(超过 70 m),因此,其他水量平衡项忽略不计.

(5)水分利用效率: $WUE=Y/ET$
式中: WUE 为作物水分利用效率($\text{kg}/(\text{mm}\cdot\text{hm}^2)$); Y 为作物产量(kg/hm^2).

1.5 数据统计分析

采用 Excel 2010 制图,SPSS 进行方差分析,并用 LSD 法($P<0.05$)进行多重比较.



2 结果与分析

2.1 氮肥用量对春玉米土壤剖面水分分布的影响
氮肥施用量的不同使春玉米土壤剖面水分分布出现明显差异.试验结果(图 1)表明,春玉米土壤水分变化土层主要发生在 80—200 cm,而且该范围土层水分亏缺随氮肥用量的增加而增加.0—80 cm 土层各处理间差异不大,与春玉米生育期降雨较多、土壤水分得到补充有关.从年度对比来看,2017 年 80—200 cm 土壤水分变化幅度 2017 年大于 2018 年,主要是原因玉米生育期降雨量 2017 年(368.4 mm)小于 2018 年(479.6 mm).作物不同生长阶段,需水量不同.在某一生长阶段,当降雨量少于作物需水时,作物会吸收较多土壤水分;反之,当降雨量多于作物需水时,多余的降雨将补充到土壤中.如 2017 年在玉米生长旺盛需水量较大的 7 月降雨量仅为 41 mm,玉米必将消耗更多的土壤水分满足生长需求.

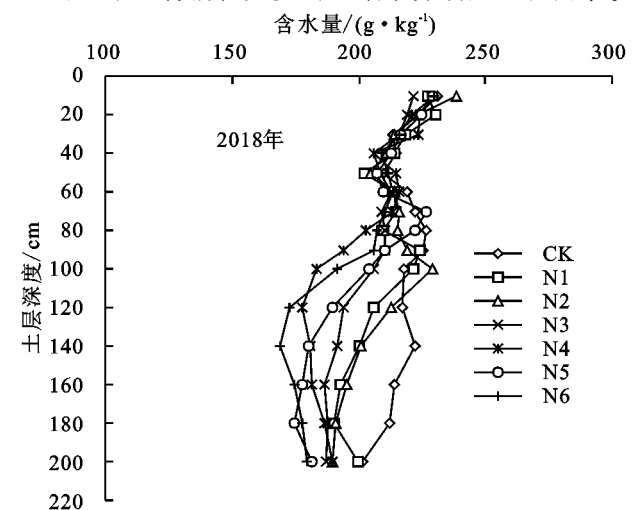


图 1 各处理春玉米收获期土壤剖面水分分布

2.2 氮肥用量对春玉米土壤耗水的影响

由表 3 可以看出,2017 年各处理土壤耗水量随氮肥施用量的增加而增加,其中 CK、N1、N2 处理土壤耗水量为负值,说明其储水量并未减少,反而增加.各处理土壤耗水量以 N6 处理最大,为 87.7 mm,分别比 CK、N1、N2、N3、N4、N5 显著提高 113.5,100.1,95.7,75.8,49.1,21.3 mm($P<0.05$).受生育期降雨量增加的影响,2018 年土壤耗水量各处理之间变化相对较小,耗水量最高的 N6 处理仅为 29.9 mm,但显著高于其他各处理.在施氮量 80~200 kg/hm^2 ,各处理间土壤耗水量差异不显著($P<0.05$).

2.3 氮肥用量对春玉米产量、作物耗水量和水分利用效率的影响

施氮量不同直接影响春玉米产量、作物耗水量和水分利用效率.从表 4 可以看出,施氮显著提高产量和水分利用效率.在一定施氮量范围内,产量随施氮量的增加而增加,在施氮量为 N5 时玉米产量达到最高,

继续增加施氮量产量出现下降.说明春玉米传统施氮量过高,减量施氮 20%不会造成作物减产,反而提高玉米产量.2017 年籽粒产量 N5 较 N6 增加 9.6%,2018 年籽粒产量 N5 较 N6 处理增加 5.8%,但 2 年 N5 和 N6 之间差异均不显著($P<0.05$).从作物耗水量来看,2017 年作物耗水随施氮量的增加作物耗水量呈增加趋势,并在 N6 达到最大值,为 456 mm.2018 年作物耗水量各处理变化较小,在 80~200 kg/hm^2 施氮量范围内差异不显著.不同氮肥用量对春玉米水分利用效率总体趋势均表现为随着施氮量增加而增加的趋势,在 N5 处理时达到最大值;N6 处理水分利用效率显著低于 N5 处理($P<0.05$),2017 年、2018 年分别显著降低 12.9%,8.4%($P<0.05$).

3 讨论

氮肥用量影响春玉米土壤剖面含水量的分布和土壤耗水数量^[13-14].2 年试验结果表明,0—80 cm

土层各处理间水分含量变化不大,其原因与玉米生育期雨热同季、耗水与降雨补给相对平衡有关;而 80—200 cm 土层土壤水分波动较大,与不同处理作物耗水量差异和降雨补充较少有关。其中 2018 年各处理在 80—200 cm 土层土壤含水量波动范围小于 2017 年,主要与 2018 年降雨较多,且降雨基本满足玉米生育期大部分水分需要,减少了对土壤深层水分的消耗。80 cm 以下土层土壤含水量呈下降趋势,且土壤含水量随氮肥施用量的增加而减少。施氮处理土壤耗水量均高于 CK,且 N6 处理土壤耗水量最高,从土壤剖面水分分布可以看出,土壤亏缺主要发生在 80 cm 土层以下,且深层水分亏缺程度随施氮量的增加而加重。高洪军等^[15]研究表明,施肥可以促使作物深层根系的发育,进而增加深层土壤水分的消耗;韩云良等^[16]的研究也表明,玉米根系对土壤深层水利

用较多,使得 80—200 cm 土层土壤含水量低于 0—80 cm 土层。这些研究与本试验结果一致。尽管春玉米是雨热同季作物,其产量除了受生育期降雨影响外,土壤底墒也是作物供水的重要组成部分,因此,播前蓄水保墒对玉米生产非常重要。

表 3 氮肥用量对春玉米土壤耗水的影响

处理	2017 年		2018 年	
	土壤耗水量	标准差	土壤耗水量	标准差
	$\Delta W/\text{mm}$		$\Delta W/\text{mm}$	
CK	-25.8a	3.9	5.5a	1.6
N1	-12.4ab	1.0	11.5ab	4.3
N2	-8.0b	2.3	16.9b	4.8
N3	11.9c	2.9	14.5b	3.6
N4	38.6d	12.3	16.0 b	2.5
N5	66.4e	11.2	15.3b	6.2
N6	87.7f	6.6	29.9c	5.6

注: 同列数据后不同字母表示差异达显著水平($P<0.05$)。下同。

表 4 氮肥用量对春玉米产量、水分利用效率的影响

处理	2017 年			2018 年		
	产量/ ($\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$)	作物 耗水量/mm	水分利用率/ ($\text{kg} \cdot \text{mm}^{-1} \cdot \text{hm}^{-2}$)	产量/ ($\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$)	作物 耗水量/mm	水分利用率/ ($\text{kg} \cdot \text{mm}^{-1} \cdot \text{hm}^{-2}$)
CK	1491.3a	342.6a	4.4a	3294.9a	485.5a	6.9a
N1	4956.5b	356.0ab	13.9b	7937.8b	491.1ab	16.0b
N2	7536.3c	360.3b	20.9c	9981.4c	496.5b	20.1c
N3	9315.5d	380.3c	24.5d	11657.0d	494.1b	23.6d
N4	9661.6d	407.0d	23.7d	13771.7e	495.6b	27.8f
N5	14396.6e	434.8e	33.1f	14117.3e	495.9b	28.6g
N6	13137.0e	456.1f	28.8e	13339.8e	509.5c	26.2e

提高水分利用效率是旱地农业发展追求的目标之一^[17]。施用氮肥可以显著提高玉米产量和水分利用效率^[18-19];2 年试验结果显示,玉米产量和水分利用效率均随施氮量增加呈先增加后减小趋势,其中 2017 年、2018 年籽粒产量 N5 处理最高,籽粒产量较 N6 分别增加 9.6%和 5.8%。水分利用效率 N5 处理显著高于 N6 处理($P<0.05$),2017 年、2018 年分别高出 14.5%,9.1%($P<0.05$)。宋娜等^[20]也得出类似结论,水分利用效率随施氮量的增加而呈抛物线趋势变化;张建军等^[21]研究也表明,在一定范围内施氮(225 kg/hm^2),能增加春玉米产量和水分利用效率,过量施氮二者均不再增加。本研究表明,当地春玉米传统施氮量(250 kg/hm^2)已严重过量,既不能提高产量,也不能改善水分利用率。减氮 20%(N5,200 kg/hm^2 施氮量)可以取得较高的产量和水分利用率。

4 结论

(1)春玉米生育期土壤耗水量随氮肥施用量的增加而增加,土壤水分亏缺主要发生在 80 cm 土层以下,且水分亏缺程度随施氮量的增加而加重。

(2)春玉米产量和水分利用率均随氮肥用量的增加呈二次抛物线的变化趋势。当地春玉米传统施氮量(N6,施氮量 250 kg/hm^2)已严重过量,减氮 20%(N5,施氮量 200 kg/hm^2)可以取得较高的产量和水分利用率。2 年 N5 籽粒产量较 N6 分别增加 9.6%,5.8%,水分利用率提高 14.5%,9.1%。

参考文献:

[1] 韩凡香,常磊,柴守玺,等.半干旱雨养区秸秆带状覆盖种植对土壤水分及马铃薯产量的影响[J].中国生态农业学报,2016,24(7):874-882.

[2] 王兵,刘文兆,党廷辉,等.长期施肥条件下旱作农田土壤水分剖面分布特征[J].植物营养与肥料学报,2007,13(3):411-416.

[3] Li S X, Wang Z H, Malhi S S. Chapter 7 Nutrient and water management effects on crop production, and nutrient and water use efficiency in dryland areas of China [J].Advances in Agronomy,2009,102(9):223-265.

[4] 邹文秀,韩晓增,江恒,等.施肥管理对农田黑土土壤水分动态变化的影响[J].土壤通报,2012,43(6):1335-1341.

- 115-121.
- [15] 宋晓.不同施氮水平对两种穗型冬小麦品种氮素吸收利用和产量的影响[D].郑州:河南农业大学,2007.
- [16] 李廷亮,谢英荷,洪坚平,等.施氮量对晋南旱地冬小麦光合特性、产量及氮素利用的影响[J].作物学报,2013,39(4):704-711.
- [17] 王贺正,张均,吴金芝,等.不同氮素水平对小麦旗叶生理特性和产量的影响[J].草业学报,2013,22(4):69-75.
- [18] 张元帅,冯伟,张海艳,等.遮阴和施氮对冬小麦旗叶光合特性及产量的影响[J].中国生态农业学报,2016,24(9):1177-1184.
- [19] Arduini I, Masoni A, Ercoli L, et al. Grain yield, and dry matter and nitrogen accumulation and remobilization in durum wheat as affected by variety and seeding rate[J].European Journal of Agronomy,2006,25(4):309-318.
- [20] 谢迎新,刘超,朱云集,等.氮、硫配施对冬小麦氮素利用效率及产量的影响[J].植物营养与肥料学报,2015,21(1):64-71.
- [21] 李朝苏,汤永禄,吴春,等.施氮量对四川盆地小麦生长及灌浆的影响[J].植物营养与肥料学报,2015,21(4):873-883.
- [22] 胡卫丽,王永华,李刘霞,等.氮密调控对两种穗型冬小麦品种茎秆干物质积累与转运的影响[J].麦类作物学报,2014,34(6):808-815.
- [23] 丁锦峰,乐韬,李福建,等.耕作方式和施氮量对稻茬小麦产量构成和群体质量的影响[J].中国农学通报,2019,35(5):93-99.
- [24] 张定一,党建友,王姣爱,等.施氮量对不同品质类型小麦产量、品质和旗叶光合作用的调节效应[J].植物营养与肥料学报,2007,13(4):535-542.
- [25] 吴培金,闫素辉,张从宇,等.应用¹⁵N分析施氮量对弱筋小麦氮素吸收利用与产量的影响[J].中国土壤与肥料,2019(4):121-126.
- [26] 宁东峰,李志杰,孙文彦,等.限水灌溉下施氮量对冬小麦产量、氮素利用及氮平衡的影响[J].植物营养与肥料学报,2010,16(6):1312-1318.
- [27] 张娜,仵妮平,徐文修,等.不同施氮水平对滴灌冬小麦干物质生产及产量的影响[J].中国农学通报,2015,31(33):21-26.
- [28] 杨江波,张绩,李俊杰,等.三峡重庆库区施氮水平对塔罗科血橙树体养分、产量品质及土壤理化性质的影响[J].中国农业科学,2019,52(5):893-908.
- [29] 窦晓静,张彦红,耿庆龙,等.施氮量对春小麦生长及土壤养分积累的影响[J].新疆农业科学,2017,54(7):1191-1199.
- [30] 邱淑芬,朱荣松,李勇,等.不同施肥处理对小麦产量及土壤养分的影响[J].江西农业学报,2013,25(4):72-75.
- [31] 于振文,潘庆民,姜东,等.9 000 kg/公顷小麦施氮量与生理特性分析[J].作物学报,2003,29(1):37-43.
- (上接第240页)
- [5] 关维刚.旱地不同覆盖方式下土壤氮素矿化特性研究[D].陕西 杨凌:西北农林科技大学,2007.
- [6] Zhong Y Q W, Shangguan Z P. Water consumption characteristics and water use efficiency of winter wheat under long-term nitrogen fertilization regimes in North-west China[J].PLoS One,2014,9(6):e98850.
- [7] 李芳林,郝明德,杨晓,等.黄土旱塬施肥对土壤水分和冬小麦产量的影响[J].麦类作物学报,2010,30(1):154-157.
- [8] 魏孝荣,郝明德,张春霞.旱地长期施肥对土壤水分的影响[J].水土保持研究,2003,10(1):95-97.
- [9] 巨兆强,刘小京.干旱盐碱区耕作方式改变对土壤性状和作物产量的影响[J].河北农业科学,2012,16(7):6-10.
- [10] 李波,张凌一,魏新光,等.滴灌施肥条件下不同施氮模式对玉米生长和产量的影响[J].中国农村水利水电,2017(2):14-18.
- [11] 王兵.黄土高原旱地农田长期施肥条件下水碳氮耦合及水分生态效应[D].陕西 杨凌:中国科学院水利部水土保持研究所(中国科学院教育部水土保持与生态环境研究中心),2008.
- [12] 鲍士旦.土壤农化分析[M].3版.北京:中国农业出版社,2000.
- [13] 吴得峰,崔全红,王军尚.黄土旱塬施氮模式对春玉米产量和水肥利用效率的影响[J].西部大开发(土地开发工程研究),2017,2(11):47-54.
- [14] 郭胜利,吴金水,郝明德,等.长期施肥对 NO_3^- -N深层积累和土壤剖面中水分分布的影响[J].应用生态学报,2003,14(1):75-78.
- [15] 高洪军,朱平,彭畅,等.不同施肥方式对东北春玉米农田土壤水热特征的影响[J].水土保持学报,2015,29(4):195-200.
- [16] 韩云良,胡迎春,张宁宁,等.覆膜时期和方式对黄土高原春玉米耗水特性和产量的影响[J].西北农业学报,2018,27(3):362-371.
- [17] 张国强,王克如,肖春华,等.滴灌量对新疆高产春玉米产量和水分利用效率的影响研究[J].玉米科学,2015,23(4):117-123.
- [18] 刘芬,王小英,赵业婷,等.渭北旱塬土壤养分时空变异与养分平衡研究[J].农业机械学报,2015,46(2):110-119.
- [19] 朱兆良,金继运.保障我国粮食安全的肥料问题[J].植物营养与肥料学报,2013,19(2):259-273.
- [20] 宋娜,王凤新,杨晨飞,等.水氮耦合对膜下滴灌马铃薯产量、品质及水分利用的影响[J].农业工程学报,2013,29(13):98-105.
- [21] 张建军,樊廷录,党翼,等.覆膜时期与施氮量对旱地玉米土壤耗水特征及产量的影响[J].水土保持学报,2018,32(6):72-78.