

增施氮肥对黄土高原旱作冬小麦农田 土壤干层动态的影响

李田湉¹, 王 俊¹, 刘文兆², 殷 铎¹, 马 赛¹

(1. 西北大学城市与环境学院, 陕西 西安 710127; 2. 中国科学院水利部水土保持研究所, 陕西 杨凌 712100)

摘 要: 依托陕西长武农田生态系统国家野外科学观测研究站十里铺长期定位观测, 研究了 5 种不同氮肥用量(0、45、90、135、180 kg·hm⁻²)对冬小麦农田土壤水分及土壤干层动态的影响。结果表明:土壤干层深度大约在 50~260 cm 之间;施氮量小于 90 kg·hm⁻²时,增施氮肥土壤耗水强度和干层深度变化较小,而施氮量超过 90 kg·hm⁻²时,增施氮肥平均土壤耗水强度较大,但干层深度无明显变化,干层厚度增加速度随施氮量增加而增加;丰水年的高降水量在一定程度上可以缓解土壤干燥化,减小干层厚度。

关键词: 旱作农田;土壤干层;氮肥;土壤水分

中图分类号: S152.7; S143.1 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-7601(2013)04-0152-04

Impact of nitrogen fertilization on evolution of dry soil layer in field of dry-land wheat on Loess Plateau

LI Tian-tian¹, WANG Jun¹, LIU Wen-zhao², YIN Duo¹, MA Sai¹

(1. College of Urban and Environmental Science, Northwest University, Xian 710127, China;

2. Institute of Soil and Water Conservation, CAS & MWR, Yangling, Shaanxi 712100, China)

Abstract: Basing on the long-term observation data in Changwu County, Shaanxi Province, the influence of different nitrogen rates (0, 45, 90, 135, 180 kg·hm⁻²) on soil moisture and evolution of dry soil layer in field of winter wheat was studied. The results showed that the depth of dry soil layer was approximately in the range of 50~260 cm. When nitrogen rate was less than 90 kg·hm⁻², the soil water consumption intensity of nitrogen fertilization and the variation of dry layer depth were small; when nitrogen rate exceeded 90 kg·hm⁻², the average soil water consumption intensity of nitrogen fertilization became relatively high, but there was no significant change in dry layer depth. The increase speed of dry layer thickness increased along with the increase of nitrogen rate. The high precipitation in wet years could relieve soil desiccation and reduce dry layer thickness to some extent.

Keywords: dry-land; dry soil layer; nitrogen fertilizer; soil moisture

“土壤干层”一般是指土壤水在土壤物理蒸发和植物蒸腾作用下,不断地逸入大气之中,经过较长时间序列,因土壤水分负补偿效应而在土体某一深度范围内所形成的厚度不等的低湿度层。它是植被蒸散过度消耗深层储水而长期得不到降水入渗补给,导致土壤水分循环出现负平衡的结果^[1],是黄土高原地区半干旱和半湿润环境条件下出现的一种特殊的水文现象^[2]。关于土壤干层形成的影响因素,王力等^[3]认为主要受当地降水量的影响,降水量过低不能满足植被生长的需求而产生土壤干层,但是当

降水量一定时,作物种类便起决定性作用。而刘忠民和黄明斌等^[4]认为,农田土壤干层的产生主要原因是增施肥料。黄土高原旱作农业生态系统中,水分和养分对作物生长具有协同效应^[5],虽然施肥可以促进小麦根系增长,根量增加,提高作物的产量和水分的利用效率,但旱地长期施肥影响土壤水库,使施肥处理的土壤水分处于一个较低的水平,其高生产力又改变了土壤耗水层深度和降水入渗补给深度^[6-7],使其难以恢复到无肥或裸地的土壤水分水平,从而导致了旱作高产农田土壤干燥化^[8]。

收稿日期:2012-08-15

基金项目:国家自然科学基金(41171033,31270484);教育部科技重点项目(209123)

作者简介:李田湉(1991—),女,陕西西安人,本科,研究方向为旱作农田生态系统水肥生产力形成机制。E-mail: nicooole@126.com。

通讯作者:王 俊(1974—),男,河南虞城人,博士,教授,主要从事农业生态学研究。E-mail: wangj@nwnu.edu.cn。

氮素是作物生长所必需的重要营养元素之一,土壤中氮素丰缺及供给状况直接影响着农作物生长水平和产量高低^[9-10]。随着肥料投入增加,作物生长需要养分条件得到改善,农田生产力提高。但养分高水平投入时,农田系统生产力限制因子由肥力限制转为水分限制,人为不合理的施肥方式又会加剧土壤深层水分损耗。因此,如何通过合理施肥在提高作物产量的同时保证土壤的供水能力是一个值得深入研究的问题。

本文依托中国科学院陕西省长武野外生态试验站的长期肥料定位试验,研究长年施用不同水平氮肥后,冬小麦农田土壤水分剖面分布及土壤干层演变规律,分析旱作高产农田长时段内自然降水、土壤贮水和作物耗水的动态关系,旨在深化对旱作高产农田土壤干燥化的认识,为黄土高原旱区高产农田的稳定生产提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

试验地位于陕西省长武县,东经 107°40′,北纬 35°12′,海拔 1 200 m,属于半干旱湿润性季风气候。据长武县气象局资料统计(1957—2006 年),该地区丰水年和枯水年降水量标准分别为 623.1 mm 和 534.4 mm,年最大降水量为 954.3 mm(2003 年),年最小降水量为 296.0 mm(1995 年),7—9 月份降水量占年降水量的 53.3% 左右。该地区年平均气温为 9.3℃,大于 10℃ 的积温为 3 029℃,年日照时数为 2 230 h,日照率为 51%,年辐射总量为 484 kJ·cm⁻²。试验所在地属于黄土旱塬区,土壤为黄盖粘黑垆土,

1985 年布设试验时,土壤有机质含量为 7.73 g·kg⁻¹,全氮含量为 0.976 g·kg⁻¹,pH 8.4,CaCO₃ 含量 10.5 g·kg⁻¹,粘粒含量(<0.002 mm)24%。

1.2 试验方案

试验作物为冬小麦,小麦品种为长武 134 号,播种期为 9 月中下旬,收获期为 6 月下旬,试验管理措施同大田一致。本研究选取了肥料试验中的 5 个处理,包括 N0、N45、N90、N135、N180,分别表示施用尿素 0、45、90、135、180 kg·hm⁻²,每个处理 3 个重复,小区面积为 22 m²。

1.3 指标测定

土壤水分用中子仪法测定,每月底测定一次,周年观测,测定深度 600 cm,其中 0~100 cm 按 10 cm 分层,100~600 cm 按 20 cm 分层。另外在每年小麦收获期用烘干法测定土壤水分对 中子仪数据加以校正,不同层次土壤含水量计算方式如下:

10 cm 土层, $W = -30.66 \times a/b + 14.616$; 20 cm 土层, $W = 16.787 \times a/b + 12.477$; 30~50 cm 土层, $W = 37.705 \times a/b + 8.0808$; 60 cm 以下土层 $W = 95.215 \times a/b - 1.6624$; $Q = W \times 1.3$ 。式中, W 为土壤重量含水量(%); Q 为土壤体积含水量(%); a 为中子计数值; b 为标准计数值。

降水量由气象观测结果获得,2005—2008 年试验区降水如图 1 所示,其中 2005 年 7 月到 2006 年 7 月份的年降雨量为 524.5 mm,接近平水年,而 2006 年 7 月到 2007 年 7 月的年降雨量为 451.3 mm,属于干旱年。2007 年 7 月和 2008 年 7 月的年降雨量为 575.5 mm,接近平水年。

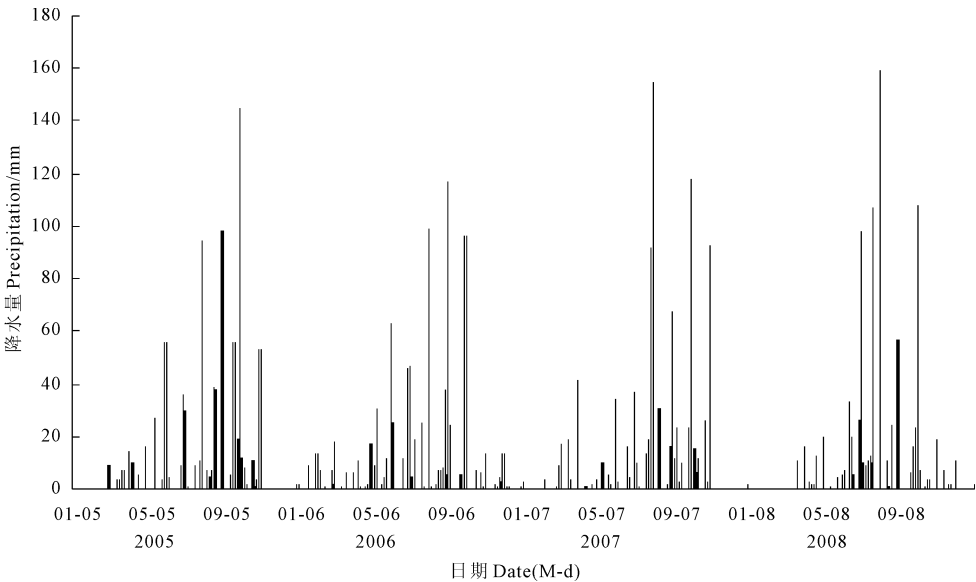


图 1 不同年份降水量变化
Fig.1 Precipitation during the different years

1.4 土壤干层判定方法

根据杨文治等^[11]的方法,即干层的湿度范围介于凋萎湿度和土壤稳定湿度之间,于是把土壤稳定湿度值作为判别旱地土壤干燥化的上限指标,将该值以下的水分亏缺全部看做土壤干层的范畴,其下限可达死亡湿度。本研究区域位于南部半湿润区,试验地土壤的田间持水量为 22.4%,凋萎湿度 9%。土壤稳定湿度值采用土壤凋萎湿度与田间持水量的平均值计算,约为田间持水量的 50%~70%^[12],本试验采用田间持水量的 70% 上限,即土壤稳定湿度值为 15.70%,土壤含水量低于此数值则判定为土壤干层。

2 结果与分析

2.1 施氮量对作物收获期农田土壤水分剖面分布的影响

作物收获期农田土壤水分剖面分布如图 2 所示。与对照相比,2006 年氮肥施用使土壤水分含量大幅减少至土壤稳定湿度以下,土壤干层自 50 cm 深度开始出现,在 160~240 cm 深度之间各施氮处理土壤水分均逐步恢复到稳定湿度以上。随着氮肥用量增加,干层消失深度也依次加深,然而当施氮量超过 90 kg·hm⁻²时,土壤水分含量却不再随施氮量的增加发生显著变化。

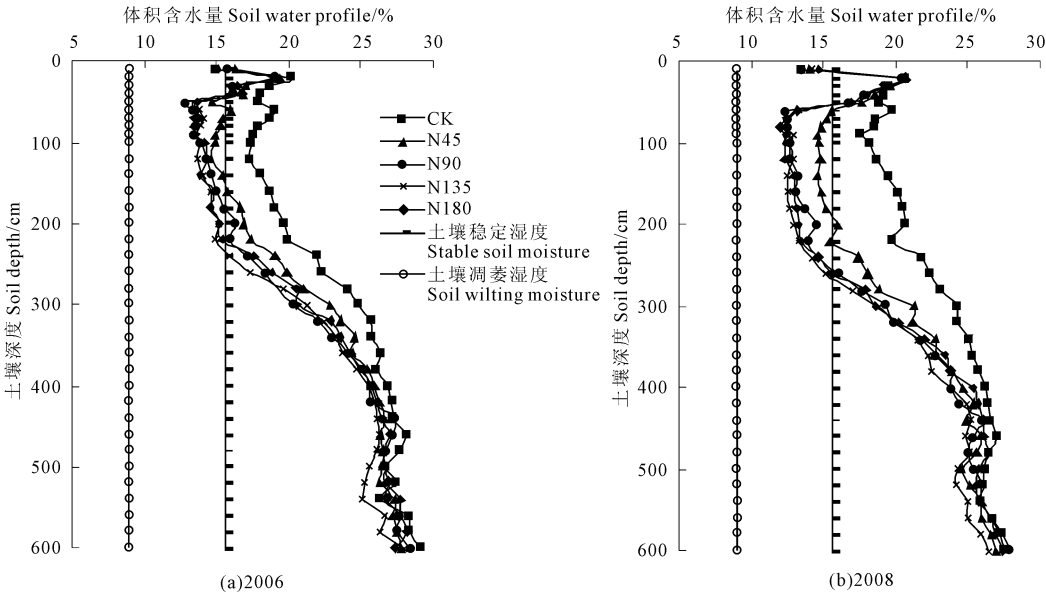


图 2 不同处理土壤水分剖面分布

Fig.2 Soil water profile under different N rate treatments

2008 年不同施氮量处理的土壤水分分布与 2006 年结果大致相同。2008 年降水量略高于 2006 年,但 2008 年的土壤干燥化程度较强于 2006 年,其干层最厚约为 215 cm,比 2006 年厚约 35 cm。随着施氮量增加,30~300 cm 深度土壤含水量逐渐降低;当施氮量达到 90 kg·hm⁻²后,土壤水分含量不再随施氮量增加发生显著变化。300 cm 深度以下土层各处理之间的差异逐渐缩小,且当土壤水分含量均恢复到土壤稳定湿度以上,施氮量对该层以下土壤含水量也不再具有显著影响。

2.2 不同施氮量下的土壤干层年际动态

图 3 显示了 2005—2008 年期间土壤干层厚度动态变化。在 2005 年小麦收获期, N90、N135 和 N180 三个处理均出现超过 150 cm 厚度的干层,但在播种期之前,除施氮量为 135 kg·hm⁻² 和 180

kg·hm⁻²处理外,所有土壤均恢复至正常水平。至 2006 年 4 月左右,各施氮处理土壤均开始出现干层,并且随施氮量增加土壤干化速率逐渐增强,干化程度逐步加重。当施氮量为 180 kg·hm⁻²时,与 135 kg·hm⁻²处理同时期相比,土壤干层干化速度反有所减小,恢复程度也较快,其土壤干层在 2006 年 8 月已消失。

2006 年 9 月下旬小麦播种时, N45 处理土壤干层消失。N135 处理整个生育期土壤都有干层存在。在 2007 年的 4 月,随着作物耗水增加,各施氮处理土壤干层的厚度开始快速增大。其中,施氮量大于 90 kg·hm⁻²后土壤干化速度基本相似,但是在降水量低于前一年的基础上,干层厚度均高于前一年同期水平。

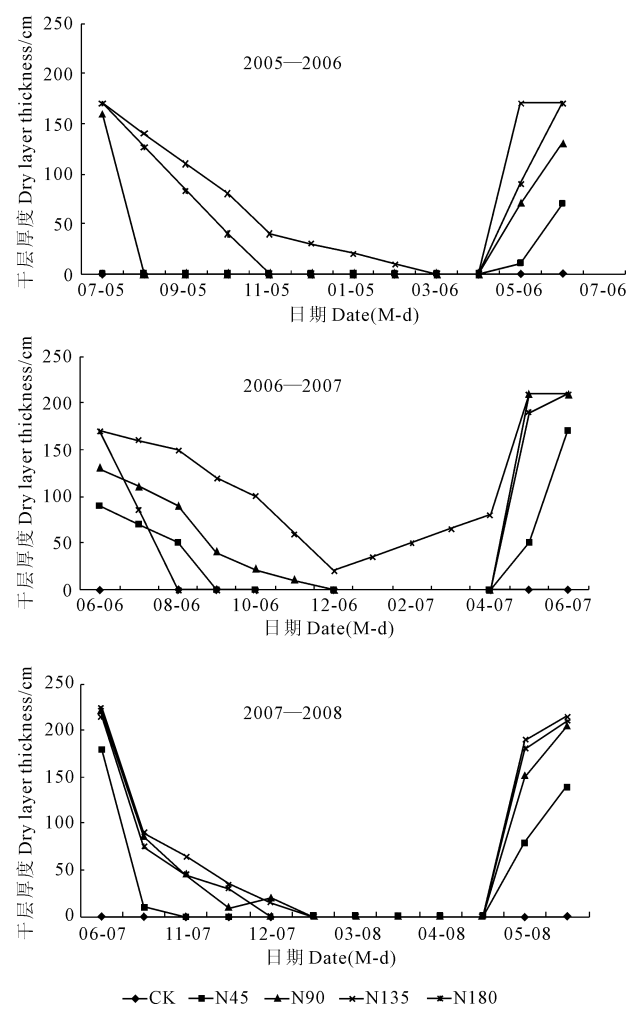


图 3 不同施氮量的干层厚度年际动态

Fig.3 The yearly changes of the thickness of desiccated soil layers under the different N rate application

至 2007 年小麦播种期时,各施氮处理的土壤干层均未完全恢复,且干层恢复速度随施氮量增加而减慢。至 2008 年 1 月,各处理土壤含水量均已恢复至正常水平,无干层出现。2008 年 5 月,各施氮处理土壤均开始出现不同程度的干化,且随施氮量增加,土壤干化速度和干层厚度也逐渐增加。与前两年相似,N135 处理较 N180 处理具有更厚的土壤干层,土壤干层恢复程度也较慢。

综合 3 年结果,与对照相比,各年各施氮处理土壤干层厚度均呈现先降后升趋势,且随施氮量增加,土壤干层一般呈现越来越厚的情况。当施氮量达到 $90\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 后,干层厚度不再随施氮量增加发生显著变化。当年降水量对土壤干层恢复具有重要影响,2006—2007 年属干旱年份,各施氮处理土壤干层消失时间较平水年份显著延长,降水补给不足甚至导致了 N135 处理全年土壤干层都未消失。

3 讨 论

施肥对土壤水库的调节,是通过增强植物的吸收能力来体现的。施用肥料加速了植物体内水分养分循环,促使根系和地上部分生长以获取更多更深层水分,加之黄土高原大部分地区蒸发量大于降水量,降水长期不能补充土壤深层水分亏缺,从而导致了土壤干层出现^[13]。

从不同施肥量比较看,不同施肥用量下,作物对土壤水分利用能力也不一。土壤干层的含水量随施氮量的增加而降低;但当施氮量超过 $90\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 时,干层的含水量不再随施氮量的增加而发生显著变化,这与其他学者研究结果相同^[14];并且说明多施氮肥则会使小麦收获期土壤耗水强度和深度更大,所造成土壤干燥化程度也更严重。

从土壤干层动态结果可以看出,随着施氮量的增加,干层厚度和所需恢复时间也逐渐增加。值得注意的是,当施氮量增至 $180\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 时,干层恢复所需时间反而有所减小,这可能是由于较高施氮量使得土壤中有机质累积,从而提高土壤持水能力,使其干层水分恢复速度加快^[15]。但是多余氮素会以硝态氮形式随降水淋失,这不仅降低肥料利用效率,也对环境形成潜在威胁^[14]。一般来说,当年 2—3 月,不同施氮量处理土壤干层均可得到恢复。而从次年 4 月开始,不同施氮量下各土壤均重新出现干层,且干层厚度增加速度随施氮量增加而增加。结合全年降水量分布数据可知,高降水量在一定程度上可以缓解土壤干燥化,提高土壤水分含量,从而减小干层厚度。

4 结 论

氮肥虽然提高农田土壤水分利用效率,促进小麦增产,却导致旱作农田深层土壤水分过度消耗和土壤干燥化现象的发生,严重影响了农田土壤水分循环,也限制了肥料作用进一步发挥,进而影响农作物产量。本研究结果表明,施氮量小于 $90\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 时,增施氮肥的土壤耗水强度和干层深度变化较小。而当施氮量超过 $90\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 时,增施氮肥平均土壤耗水强度较大,深度无明显变化。土壤干层越厚,土壤水分下渗就越困难,恢复也越慢。并且干层厚度增加速度随施氮量增加而增加,当施氮量达到 $90\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 后,干层厚度却不再随施氮量增加而发生显著的变化。高降水量在一定程度上可以缓解土壤干燥化,提高干层含水量,减小干层厚度。

(下转第 160 页)

体内的 *ATCIPK23* 刺激了 K^+ 吸收系统的活性,使烟株在较低的供钾水平下仍具有较强的钾吸收能力。根吸收动力学参数实验也验证了这一推论。转基因材料 KA12、KA16、KA21 的 C_{min} 比 K326 分别降低了 36.23、26.28 $\mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ 及 19.60 $\mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$; 而 K_M 分别降低了 89.92、74.39 $\mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ 及 62.84 $\mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ 。

4 结 论

以上研究表明,在供钾不足时,转 *ATCIPK23* 基因烟草比对照品种具有明显的生长优势,表现为:

- 1) 生长发育受抑制的程度较轻,主根生长较快,根系较为发达,叶面积较大。
- 2) 生物量大,在钾素供应不足时,转 *ATCIPK23* 基因烟草植株的鲜重和干重均显著高于对照品种。
- 3) 植株含钾量高,转 *ATCIPK23* 基因烟草的 3 个品系的含钾率分别比 K326 提高了 31.6%、39.0% 和 27.7%。
- 4) 根系活力强,转基因材料 KA12、KA16、KA21 的 C_{min} 分别降低了 36.23、26.28 μM 及 19.60 μM ; 而 K_M 分别降低了 89.92、74.39 μM 及 62.84 μM 。

参 考 文 献:

[1] Capehart T, Grice V. World tobacco production trends [R]. Asheville, NC: Presented to the Tobacco Marketing Cost Study Committee, 1994;23-24.

[2] 刘国顺.烟草栽培学[M].北京:中国农业出版社,2003:1-2.

[3] 芒森 RD[美].范钦桢,郑文钦译.农业中的钾[M].北京:科学出版社,1995:277-360,814-829.

[4] Atehurst B C. Tobacco[M]. New York: Humanities Press, 1981; 387-398.

[5] Tso, T.C. Mineral nutrition-primary element[C]//Production, Physiology and Biochemistry of Tobacco Plant. USA: Ideals, Inc, and Beltsville, 1990;279-312.

[6] 胡国松,赵元宽.我国主要产烟省烤烟元素组成和化学品质评价[J].中国烟草学报,1997,3(3):36-43.

[7] 谈克政,陆发熹.南雄紫色土供钾特性及其对烟草产量和品质的研究[J].华南农业大学学报,1986,87:28-36.

[8] Sims J L, Casy M, Legget J E, et al. Effect of transplant water fertilization on growth and chemical composition of burley tobacco[J]. Annual Report of the College of Agriculture and the K Y Agri Exp Stn, 1981,59-60.

[9] 韩锦峰,朱大恒,刘华山,等.我国烤烟含钾量低的原因及解决途径[J].河南农业科学,2010,(2):32-36.

[10] 洪丽芳,苏帆.烤烟钾素营养研究进展[J].西南农业学报,2001,14(2):87-91.

[11] 崔国贤,李宗道.苧麻不同基因型的吸钾能力及其与根系参数的关系[J].农业现代化研究,2000,21(6):371-375.

[12] 彭克勤,彭志红,萧浪涛,等.水稻耐低钾变异后代的根系生理研究[J].中国农学通报,2003,36(1):1-7.

[13] 李英鹏,孙渭,赵莉丽,等.钾胁迫条件下 AM 真菌对烟草生长和叶片保护酶系统的影响[J].干旱地区农业研究,2003,21(1):51-53.

[14] 聂红资,杨铁钊,杨志晓,等.不同供钾水平下转 *ATCIPK23* 基因烟草钾吸收特征的研究[J].河南农业科学,2009,(6):53-56.

[15] 鲁黎明.*AtCIPK23* 在烟草中过表达的钾效率响应及 *NiHAK1* 的克隆与表达模式研究[D].河南:河南农业大学,2007.

[16] 李皓东.拟南芥钾营养突变体的筛选和低价敏感基因 *LKSL* 的功能与分子调控机制研究[D].北京:中国农业大学,2005.

(上接第 155 页)

旱作农田长期施氮肥,改变土壤耗水层深度和降水入渗补给深度,降低土壤供水能力,限制作物对土壤水分利用,从而提高作物对当季降水的依赖性。这将使得高产农田由于土壤供水能力而受到限制,导致产量随降雨量产生大的波动^[16]。

参 考 文 献:

[1] Chen Hongsong, Shao Mingan. Standards for assessing desiccation of deep soil layer on Loess Plateau[J]. Journal of Soil and Water Conservation, 2004,18(3):164-166.

[2] 杨文治,余存祖.黄土高原区域治理与评价[M].北京:科学出版社,1992:241-297.

[3] 王力,邵明安,王全九,等.黄土区土壤干化研究进展[J].农业工程学报,2004,20(5):27-31.

[4] 刘忠民,山仓,邓西平.施肥和密度对春小麦产量根系及水分利用的影响[J].水土保持研究,1998,5(1):71-75.

[5] 杨文治,邵明安.黄土高原土壤水分研究[M].北京:科学出版社,2000.

[6] 黄明斌,党廷辉,李玉山.黄土区旱塬农田生产力提高对土壤水分循环的影响[J].农业工程学报,2002,18(6):50-54.

[7] 陈宝群,赵景波,李艳花.黄土高原土壤干层形成原因分析[J].地理与地理信息科学,2009,5(3):85-90.

[8] 王力,邵明安,侯庆春.黄土高原土壤干层初步研究[J].西北农林科技大学学报,2001,29(4):34-38.

[9] 赵柄梓,徐富安.水肥条件对小麦、玉米 N、P、K 吸收的影响[J].植物营养与肥料学报,2000,6(3):260-266.

[10] 钟良平,邵明安,李玉山.农田生态系统生产力演变及驱动力[J].中国农业科学,2004,37(4):510-515.

[11] 杨文治,邵明安.黄土高原土壤水分研究[M].北京:科学出版社,2000.

[12] 李军,蒋斌,胡伟,等.黄土高原不同类型旱区旱作粮田深层土壤干化特征[J].自然资源学报,2009,24(12):21-24.

[13] 薛晓辉,郝明德.黄土旱塬区农田施肥、产量与土壤深层干化化的关系研究[J].干旱地区农业研究,2010,28(6):75-80.

[14] 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.

[15] Wang Jun, Liu Wenzhao, Dang Tinghui. Responses of soil water balance and precipitation storage efficiency to increased fertilizer application in winter wheat[J]. Plant and soil, 2011,347(1-2):41-51.

[16] 李玉山.旱作高产田产量波动性和土壤干化[J].土壤学报,2001,(3):353-356.