

甘肃黄土高原土壤农业水分常数分布特征

蒲金涌^{1,2}, 冯建英¹, 姚晓红², 刘卫民³, 袁伯顺³, 辛昌业²

(1. 中国气象局兰州干旱气象研究所, 中国气象局干旱气候变化与减灾重点开放实验室,

甘肃省干旱气候变化与减灾重点实验室, 甘肃 兰州 730020;

2. 甘肃省天水农业气象试验站, 甘肃 天水 741020; 3. 天水市气象局, 甘肃 天水 741000)

摘 要: 通过对黄土高原 23 个农业气象观测站及 3 个农业气象试验站作物观测地段的土壤农业水分常数分析, 以揭示该地域农业水分特性的分布特征。结果显示: 在甘肃黄土高原, 土壤容重从北到南、从浅层到深层呈减少趋势; 凋萎湿度地域及垂直分布变化不大; 田间持水量地域分布特征明显, 陇西黄土高原大于陇东黄土高原; 干旱的临界土壤含水量基本上为北部小于南部, 最大值出现在陇西黄土高原的中部。

关键词: 甘肃; 黄土高原; 土壤; 水分常数; 分布特征

中图分类号: S152.7 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-7601(2008)03-0205-05

甘肃黄土高原位于黄土高原的最西端, 横跨约 6 个经度, 东续陕西黄土高原, 西达乌鞘岭。以陇山 (约 106.2°E) 为界, 分为陇东、陇西两部分, 陇东黄土高原为甘肃黄土高原重要分布区, 平均海拔 1 200~1 800 m, 由于受泾河及支流的侵蚀, 地貌塬、梁、峁、坪、沟、谷相间并存。陇西黄土高原属黄土丘陵黄土耕地类型亚区。地形为黄土梁峁丘陵, 地貌组合由河谷、川谷梁峁坡地和部分残塬组成, 并以破碎的黄土沟壑和梁峁丘陵为主, 塬面及盆地所占比例很小。尽管两部分土壤质地基本相同, 但由于长期不同的气候及地形作用, 形成了不同的地面植被, 土壤农业水文特征存在着较大差异。土壤的农业水文特征直接关系到作物栽培的方式及生长的适宜程度。长期以来, 针对黄土高原土壤农业水文特点, 在自然土壤的入渗规律、土壤水分生态条件与种植业的合理配置、黄土丘陵区生态位特征、水土流失、气候变化对土壤水的影响等方面开展了大量的研究工作^[1~12], 取得了许多成果。土壤农业水文特征的研究愈来愈引起人们的重视, 成为土壤资源的合理开发利用的重要依据, 揭示甘肃黄土高原的土壤农业水分常数分布规律, 显得极有必要。

1 资料与试验方法

2004 年在位于黄土高原境内的定西、天水、西峰 3 地, 按照《农业气象观测规范》有关土壤水分常数的测量方法^[13], 从地表以下 10 cm 开始, 统一操作程序, 对分布在陇西黄土高原、陇东黄土高原的

26 个农业气象观测站及农业气象试验站的作物观测地段 (表 1), 进行了土壤水分常数 (土壤容重、凋萎湿度、最大田间持水量) 的测定, 每间隔 10 cm 土层取样一次, 深度达 100~200 cm。其中土壤容重是在没有遭到破坏的自然土壤结构条件下, 用特制的土壤容重测定器, 采取体积一定的土样称重, 取样烘干, 计算单位体积内的干土重。作物观测地段基本上常年固定, 代表了当地大田的生产水平及土壤质地状况。

土壤质地的确定采用中国土壤分类标准^[14]。其中凋萎湿度的测定采用栽培法, 选择对土壤湿度变化反应最敏感的、凋萎特征明显容易鉴别的小麦、燕麦作为指示作物。土壤湿度用重量含水率 ($w = \text{土壤含水重} / \text{干土重}$, 单位: %) 及土壤含水量 ($V = \rho \times h \times w$, ρ 为土壤容重 (g/cm^3), h 为土层厚度 (cm), 单位: (mm) 表示。

进行土壤凋萎湿度的测定时, 在测定期间每日 8 时、14 时观测植株的发育期及生长状况, 并进行植株叶面高处空气温度、相对湿度的测定, 在测定期间配备了温、湿度自记仪器以便测定对比夜间、白天相对湿度不同对作物凋萎过程的影响。

2 结果与分析

2.1 土壤容重的分布

甘肃黄土高原 0~50 cm 土壤容重在 1.2~1.48 g/cm^3 之间 (图 1), 以陇西黄土高原北部的最大, 陇西黄土高原的南部为最小, 天水仅 1.20

收稿日期: 2007-12-15

基金项目: 科技部科研院所社会公益研究项目“中国干旱气象灾害监测预警方法研究” (2004DIB5J192), “西北农作物对气候变化的响应及其评价方法” (2005DIB3J100)

作者简介: 蒲金涌 (1960—), 男, 甘肃省天水市人, 高级工程师, 主要从事应用气象业务及土壤墒情测定工作。E-mail: pujinyong6@

g/cm^3 。陇东黄土高原介于两者之间。50~100 cm 有两个低值区分别在陇西黄土高原的榆中、定西、通渭一线即 35.5°N 左右及陇东黄土高原的最完整残原董志原区。高值区出现在陇西黄土高原 104°E 以西的临夏、南部的天水地区及陇东黄土高原 36°N 以北的华池、环县。

表 1 甘肃省黄土高原各农业气象观测站分布

Table 1 Distribution of agrometeorological observation stations in the loess plateau of Gansu

	地点 Sites	纬度 Latitude	经度 Longitude	海拔高度(m) Elevation	质地 Soil types
陇西黄土高原 Longxi loess plateau, Gansu	景泰 Jingtai	$37^\circ11'$	$104^\circ03'$	1630.9	砂壤土 Sandy loam
	靖远 Jinyuan	$36^\circ34'$	$104^\circ41'$	1398.2	壤土 Loam
	白银 Baiyin	$36^\circ33'$	$104^\circ11'$	1710.8	砂壤土 Sandy loam
	兰州 Lanzhou	$36^\circ02'$	$103^\circ52'$	1517.2	壤土 Loam
	永靖 Yongjing	$35^\circ58'$	$103^\circ18'$	1647.1	砂壤土 Sandy loam
	榆中 Yuzhong	$35^\circ52'$	$104^\circ09'$	1874.4	壤土 Loam
	会宁 Huining	$35^\circ41'$	$105^\circ04'$	1739.4	砂壤土 Sandy loam
	临夏 Linxia	$35^\circ35'$	$103^\circ11'$	1917.2	壤土 Loam
	定西 Dinxi	$35^\circ27'$	$104^\circ37'$	1897.2	壤土 Loam
	张川 Zhangchuan	$35^\circ27'$	$106^\circ11'$	1664.5	壤土 Loam
	和政 Hezheng	$35^\circ25'$	$103^\circ20'$	2162.8	壤土 Loam
	临洮 Lintao	$35^\circ22'$	$103^\circ52'$	1893.8	壤土 Loam
	通渭 Tongwei	$35^\circ13'$	$105^\circ14'$	1768.2	壤土 Loam
	陇西 Longxi	$35^\circ00'$	$104^\circ39'$	1727.8	壤土 Loam
	秦安 Qinan	$34^\circ52'$	$105^\circ40'$	1222.5	壤土 Loam
	武山 Wushan	$34^\circ44'$	$104^\circ53'$	1495.4	壤土 Loam
	天水 Tianshui	$34^\circ33'$	$105^\circ53'$	1085.2	壤土 Loam
陇东黄土高原 Longdong loess plateau, Gansu	环县 Huanxian	$36^\circ34'$	$107^\circ18'$	1255.6	壤土 Loam
	华池 Huachi	$36^\circ27'$	$107^\circ59'$	1271.0	壤土 Loam
	西峰 Xifeng	$35^\circ44'$	$107^\circ38'$	1421.0	壤土 Loam
	镇原 Zhenyuan	$35^\circ41'$	$107^\circ11'$	1172.5	壤土 Loam
	平凉 Pingliang	$35^\circ33'$	$106^\circ40'$	1347.8	壤土 Loam
	宁县 Ningxian	$35^\circ31'$	$107^\circ55'$	979.4	壤土 Loam
	静宁 Jingning	$35^\circ31'$	$105^\circ43'$	1658.1	壤土 Loam
	泾川 Jinchuan	$35^\circ20'$	$107^\circ21'$	1028.8	壤土 Loam
	灵台 Lingtai	$35^\circ04'$	$107^\circ37'$	966.6	壤土 Loam

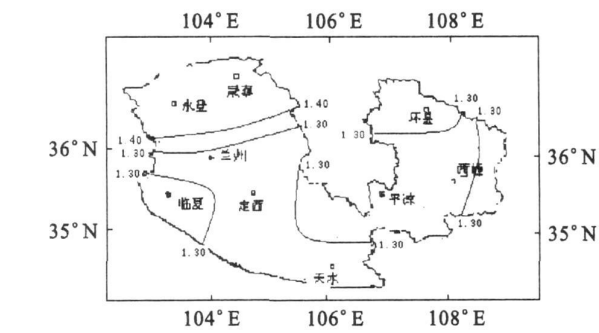


图 1a 甘肃黄土高原 0~50 cm 土壤容重分布(g/cm^3)

Fig. 1a Distribution of soil density in the loess plateau of Gansu (0~50 cm)

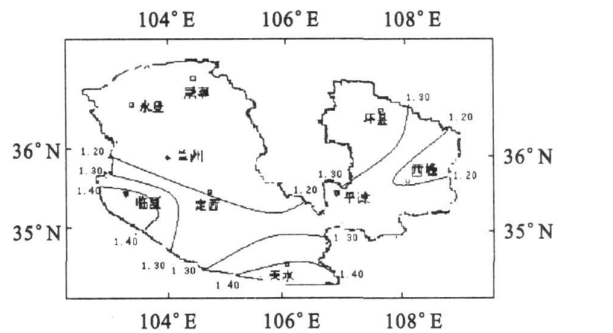


图 1b 甘肃黄土高原 50~100cm 土壤容重分布(g/cm^3)

Fig. 1b Distribution of soil density in the loess plateau of Gansu (50~100 cm)

陇西黄土高原的西部及陇东的董志塬区的上、下层土壤容重分布变化较小,前者为 0~50 cm 及 50~100 cm 土壤容重最大值分布区,后者为最小值分布区。另外除陇西黄土高原西部的临夏外,0~50 cm 的土壤容重普遍大于 50~100 cm。随着农业现代化技术的不断应用,土地、气候资源利用率的不断提高,农业生产节奏趋紧,农事活动频繁,土地最大程度地利用及以化学肥料为主补充土壤养分缺失的施肥方式等使土壤腐殖质等含量日趋缺失,是上层土壤容重尤其是耕作层土壤容重普遍大于下层的原因之一^[15~16]。

2.2 凋萎湿度

土壤的凋萎湿度是指作物生长开始受到抑制,

丧失膨压以至凋萎时的土壤湿度,是土壤有效水的下限。凋萎湿度的大小主要决定于土壤质地、结构、腐殖含量和作物种类等。天水农业气象试验站 2004 年试验及测定结果见表 2。作物从出苗直至缺水凋萎死亡,在平均气温 12.5℃,空气平均相对湿度 69%的环境中历时 48 d,其中正常生长时间占整个过程的 42%,凋萎死亡时间占整个过程的 21%。正常生长期 0~50 cm 耗水量 2.5 mm/d,基本停止生长期耗水量 0.5 mm/d。叶片白天卷缩夜间恢复阶段空气中的相对湿度相差 13%。指示作物小麦的生长发育达到三叶阶段。分析得出,0~200 cm 各层次田间持水量(Y)是凋萎湿度(X)的函数,拟合效果好, $Y=26.514e^{-0.231X}$, $R^2=0.9256$, $P<0.001$ 。

表 2 天水农业气象试验站 0~200 cm 正常植株生长至凋萎死亡平均土壤水分变化(测定日期 2004.9.2~10.19)
Table 2 The variation of soil water content from growth to wilting(death) (0~200 cm)
(Site: Agrometeorological Experiment Station of Tianshui. Date: September 2, 2004 to October 19, 2004)

生长状况 Circumstances	重量 含水率 Soil moisture (%)	起至日期 Date (M·d—M·d)	经历天数 Day (d)	平均气温 Mean temperature (℃)	≥0℃积温 AT (℃)	平均相对 湿度 Relative humidity (%)	夜间平均 相对湿度 Relative humidity at night (%)	白天平均 相对湿度 Relative humidity in day (%)
正常生长(出苗~三叶) Normal	18.3	09.02—09.21	20	17.6	351.5	73	79	66
基本停止生长(三叶) Almost stopping growth	10.2	09.22—09.29	8	16.2	129.6	78	82	74
半数叶片变黄 Leaves turning yellow	8.3	09.30—10.04	5	12.8	63.8	54	66	42
叶片白天卷缩、夜间恢复 Leaves curling in day and recovering at night	7.3	10.05—10.09	5	13.9	69.6	68	74	61
植株凋萎死亡 Wilting and dying	6.5	10.10—10.19	10	11.9	118.6	73	73	72

甘肃黄土高原土壤凋萎湿度基本变化不大(图 2),在 5.46%~10.52%之间,0~50 cm 的低值区出现在陇东黄土高原的董志塬区及陇西黄土高原的中部,最高值出现在陇西黄土高原的东部。50~100

cm 的土壤湿度平均值普遍比上层小,陇西黄土高原西部的低值区北抬明显。高值区分布在陇东黄土高原的 36°N 地区。最高和最低值之间相差 4.0%。

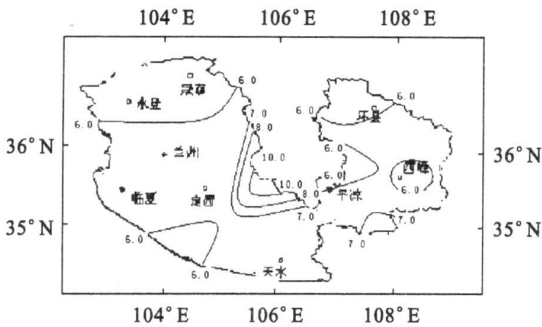


图 2a 甘肃黄土高原 0~50 cm 凋萎湿度分布(%)
Fig.2a Distribution of soil wilting moisture in the loess plateau of Gansu (0~50 cm)

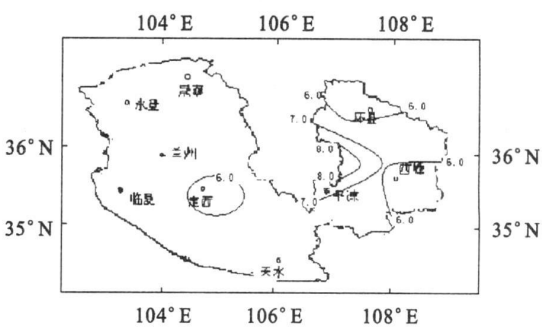


图 2b 甘肃黄土高原 50~100 cm 凋萎湿度分布(%)
Fig.2b Distribution of soil wilting moisture in the loess plateau of Gansu (50~100 cm)

2.3 田间持水量

田间持水量是土壤保水性能的一个重要指标,土壤含水一般都在其值以下。在黄土高原旱作区,当土壤含水量高于田间持水量时,则标志着土壤缺少空气,根部条件恶化。不利作物的生长。

甘肃黄土高原的田间持水量变化较大(图 3),

其值为 20%~27%,陇西黄土高原普遍大于陇东,地域分布特征明显。0~50 cm 陇西黄土高原的高值区在北部及中部,达 25.0%~26.7%,陇东黄土高原出现在 35.5°N 左右,最大值为 23.2%~23.6%,深层(50~100 cm)最大值出现在陇西黄土高原的中部,陇东出现在 36°N 左右。

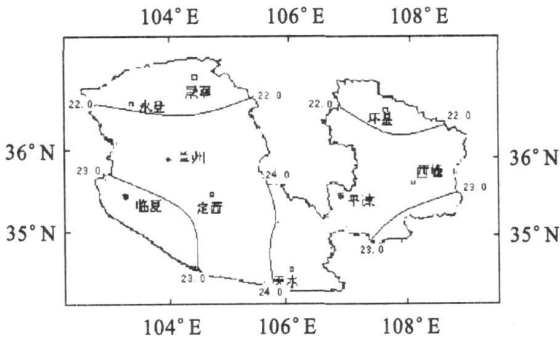


图 3a 甘肃黄土高原 0~50 cm 田间持水量分布 (%)
Fig.3a Distribution of field water-holding capacity in the loess plateau of Gansu (0~50 cm)

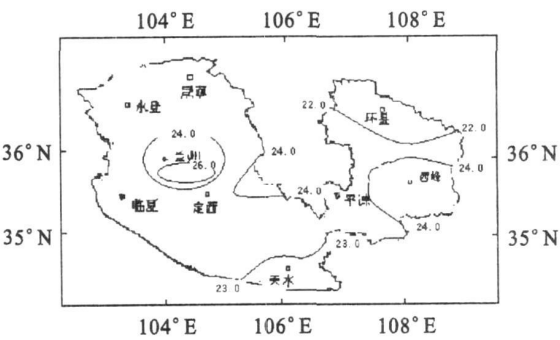


图 3b 甘肃黄土高原 50~100 cm 田间持水量分布 (%)
Fig.3b Distribution of field water-holding capacity in the loess plateau of Gansu (50~100 cm)

各层次土壤容重 (X)与田间持水量 (Y)存在着较好的函数关系。

陇西黄土高原(天水):

$$Y=0.0022X^2-0.4707X+25.624$$
$$R^2=0.7134, P<0.005$$

陇东黄土高原(西峰):

$$Y=0.0146X^2-0.3992X+25.256$$
$$R^2=0.6763, P<0.005$$

2.4 土壤干旱临界含水量的分布

土壤农业干旱决定土壤的接纳、保蓄能力和供给作物可吸收的水分的多少。由于各地土壤质地、结构、耕作措施不同,用占田间持水量多少即土壤相

对湿度来评价土壤的干旱程度,是农业气象中的最常用方法。在标定土壤干旱程度及分析农田供水状况时,把土壤相对湿度为 40%、60%确定为土壤达到严重干旱、轻度干旱及发布旱情预警的临界值^[17]。

甘肃黄土高原 0~50 cm 严重干旱含水量临界值为 44~68 mm(图 4),36°N 以北重旱的预警临界值<60 mm, 36°N 以南重旱的预警临界值>60 mm。0~50 cm 轻度干旱含水量的临界值为 66~102 mm。陇西黄土高原北部临界值最小,西南部最大。

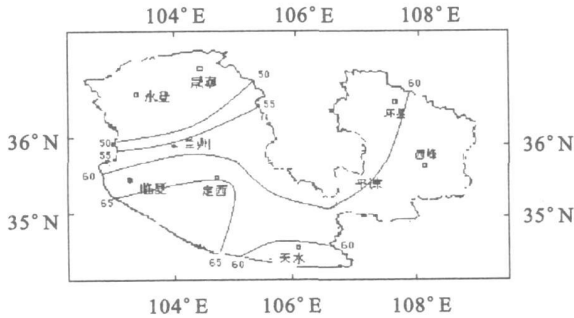


图 4a 0~50 cm 轻度干旱土壤临界含水量(mm)
Fig.4a Critical amount of soil water under light drought (0~50 cm)

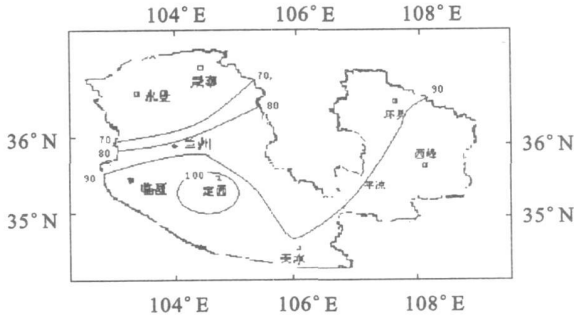


图 4b 0~50 cm 严重干旱土壤临界含水量(mm)
Fig.4b Critical amount of soil water under serious drought (0~50 cm)

3 结 论

- 1) 甘肃黄土高原 0~50 cm 的土壤容重普遍大于下层。这表明,上层土壤由于农事活动频繁、施肥不合理等原因,出现容重增大,保水量降低的沙化现象^[18],在生产过程中应引起足够的注意。
- 2) 陇东黄土高原土层深厚,耕作层结构良好,具有疏松、透水、绵软、易耕、性热等特点,对水分运行和根系发育有利,应按土壤水分变化规律进行耕作、蓄水、保墒^[19]。陇西黄土高原沟壑纵横,山地坡度大,缺乏植被覆盖,遇到暴雨水土流失严重,因此,应提高土壤的抗旱能力,完善一整套保土、保水、蓄水的工程措施。
- 3) 甘肃黄土高原土壤干旱预警临界值基本上从北到南逐渐增加,说明北部土壤干旱发生的频率比南部大,但同时也说明,在相同的干旱程度下,解除干旱所需要的降水量南部比北部大。

参 考 文 献:

[1] 吴发启,宋娟丽,崔力拓.渭北黄河流域土壤水分生态条件与种树配置[J].水土保持学报,2005,19(1):128—131.

[2] 张富.黄土丘陵区小流域生态位特征及植物对位配置研究[J].水土保持学报,1991,5(2):46—51.

[3] 赵 忠,李 鹏.渭北黄土高原主要造林树种根系分布特征及抗旱性研究[J].水土保持学报,2002,16(1):96—99.

[4] 庞 敏,侯庆春,薛智德,等.延安研究区主要自然植被类型土壤水分特征初探[J].水土保持学报,2005,19(2):138—141.

[5] 晋小军,黄高宝.陇中半干旱地区不同耕作措施对土壤水分及

利用效率的影响[J].水土保持学报,2005,19(5):109—112.

[6] 张仁陟,李小刚,胡 华,等.甘肃黄土地区农田土壤水分变异常规律研究[J].水土保持学报,1998,4(4):53—59.

[7] 梁一民,陈云明.论黄土高原造林的适地适树与适地适林[J].水土保持通报,2004,24(3):69—72.

[8] 蒋定生.黄土高原水土流失与治理模式[M].北京:中国水利水电出版社,1997.89—102.

[9] 蒲金涌,姚小英,贾海源,等.甘肃陇西黄土高原旱作区土壤水分变化规律及有效利用程度研究[J].土壤通报,2005,36(4):483—486.

[10] 蒲金涌,姚小英,邓振镛,等.气候变化对甘肃黄土高原土壤水量的影响[J].土壤通报,2006,37(6):1086—1089.

[11] 张洪芬,王劲松,黄 斌.西峰黄土高原麦田土壤水分的垂直分布[J].土壤通报,2006,37(6):1081—1085.

[12] 金 轲,蔡典雄,吕军杰,等.耕作对坡耕地水土流失和冬小麦产量的影响[J].水土保持学报,2006,20(4):1—5,49.

[13] 中国气象局.农业气象观测规范[M].北京:气象出版社,1993.

[14] 中国科学院南京土壤研究所土壤系统分类课题组,中国土壤系统分类课题研究协作组.中国土壤系统分类检索(第三版)[M].合肥:中国科学技术大学出版社,2001.

[15] 吴承祯,洪 伟.不同经营模式土壤团粒结构的分形特征研究[J].土壤学报,1999,36(2):162—167.

[16] 孟 凯,张兴义.松嫩平原黑土退化的机理及其生态修复[J].土壤通报,1998,29(3):100—102.

[17] 邓振镛,林日暖.甘肃省土壤农业水文特征的研究[J].自然资源学报,1989,4(2):40—45.

[18] 王葆芳,杨晓晖,江泽平,等.不同地区土地沙漠化过程中土壤退化演变规律[J].水土保持学报,2006,20(3):1—5,9.

[19] 郭海英,马鹏里,杨兴国,等.陇东黄土高原塬区冬小麦越冬期土壤水分损耗规律浅析[J].土壤通报,2005,36(2):165—168.

Distribution characters of soil agricultural moisture constant in the loess plateau of Gansu Province

PU Jing-yong^{1,2}, FENG Jian-ying¹, YAO Xiao-hong², LIU Wei-min³, YUAN Bai-shun³, XIN Chang-ye²
(1. Lanzhou Institute of Arid Meteorology, Key and Open Laboratory of Arid Climate Change and Reducing Disaster, China Meteorological Administration, Key Laboratory of Arid Climate Change and Reducing Disaster of Gansu Province, Lanzhou, Gansu 730020, China;
2. Agrometeorological Experiment Station of Tianshui, Tianshui, Gansu 741020, China;
3. Tianshui Meteorology Bureau, Tianshui, Gansu 741000, China)

Abstract: Based on the data of soil moisture constant which was measured at test field of 23 agrometeorological observatories and 3 agrometeorological experiment stations, the distribution characters were analyzed. The results showed that soil density turned smaller from north to south and upper to deeper, and the variation of wilting moisture did not appear big difference in the loess plateau of Gansu Province. It also indicated that the field water-holding capacity showed difference obviously, in which Longxi's was bigger than Longdong's and the critical amount of soil water under drought of the north was smaller than that of the south, the maximum value appeared in central section in Longxi loess plateau.

Keywords: Gansu; loess plateau; soil; moisture constant; distribution character