

高海拔旱地油菜产量对土壤贮水量和热量的响应

丁文魁^{1,2}, 马兴祥², 王鹤龄¹

(1. 中国气象局兰州干旱气象研究所/甘肃省干旱气候变化与减灾重点实验室/
中国气象局干旱气候变化与减灾开放实验室, 甘肃 兰州 730020;
2. 甘肃省武威农业气象试验站, 甘肃 武威 733000)

摘要: 为制定气候变化情景下农作物种植应对措施, 采用分期播种法, 研究高海拔旱作区春油菜产量对土壤有效贮水量和热量的响应。结果表明, 高海拔旱地土壤有效贮水量在油菜生长前期较多, 后期较少。出苗期和开花期土壤有效贮水量对油菜产量的影响较小, 薹花期和角果发育期土壤贮水对产量影响较大, 薹花期、角果发育期油菜产量与土壤贮水量正相关显著, 薹花期土壤贮水每增加 10 mm, 产量增加 71.7 kg·hm⁻²; 角果发育期土壤贮水每增加 10 mm, 产量增加 30.13 kg·hm⁻²。热量也是影响油菜产量的重要因素, 油菜产量与日平均气温、积温负相关显著, 日平均气温每升高 1℃, 产量减少 163 kg·hm⁻²; 积温每升高 50℃·d, 产量减少 251.15 kg·hm⁻², 根据不同气候条件和油菜生长特点, 从品种、播期、技术与结构等方面提出了种植应对措施。

关键词: 高海拔旱地; 春油菜产量; 土壤有效水贮量; 气候条件; 应对措施
中图分类号: S152.7 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-7601(2013)05-0106-04

Response of rape yield to soil water storage and heat in
dryland of high-elevation area

DING Wen-kui^{1,2}, MA Xing-xiang², WANG He-ling¹

(1. Institute of Arid Meteorology, CMA/Gansu Provincial Key Laboratory of Arid Climate Change and Reducing
Disaster/Key Open Laboratory of Arid Climate Change and Disaster Reduction of CMA, Lanzhou, Gansu 730020, China;
2. Wuwei Agricultural Meteorology Experimentation Station of Gansu Province, Wuwei 733000, China)

Abstract: In order to search for countermeasures of crop planting under the background of climatic change, the response of yield of spring rape to available soil water storage and heat was studied in dryland of high-elevation area by staging sowing method. The results showed that the soil water storage in dryland of high-elevation area was more in the early growth period than that in the late growth period. The influence of available soil water storage to yield was relatively low in seedling and blossom period, but it was rather high in bolting, flowering and pod development period. There were significant positive correlations between rape yield and soil water storage in bolting, flowering and pod development period. When soil water storage increased by 10mm during bolting and flowering period, the rape yield could be improved by 71.7 kg·hm⁻²; when it increased by 10mm during pod development period, the rape yield could be improved by 30.13 kg·hm⁻². Heat was also an important factor affecting rape yield. There were significant negative correlations between rape yield and daily mean temperature as well as accumulated temperature. When daily mean temperature rose by 1℃, the rape yield could be reduced by 163 kg·hm⁻²; when accumulated temperature rose by 50℃·d, the rape yield could be reduced by 251.15 kg·hm⁻². Different planting response measures were proposed according to the growth characteristics of rape under different climatic conditions.

Keywords: dryland of high elevation area; yield of spring rape; available soil water storage; climatic condition; response measure

全球气候变暖给农业生产带来了极大的不稳定性,特别是对旱地农业生产的危害性不断增大,农作

收稿日期: 2013-01-04
基金项目: 国家重大科学研究计划“全球典型干旱半干旱地区气候变化及其影响”(2012CB955304); 科技部行业(气象)专项“西北地区旱作农业对气候变暖的响应特征及其预警和应对技术研究”(GYHY200806021-01); “农田土壤水分利用效率对气候变化的响应及适应技术”(GYHY201106029)
作者简介: 丁文魁(1973—), 甘肃古浪人, 学士, 高级工程师, 主要从事应用气象与生态试验研究。E-mail: gswdwk@163.com。

物种植风险和产量不确定性越来越大,脆弱的生态系统,直接影响油料生产安全^[1-3]。面对不断增温的气候环境,种植技术和结构调整等措施也相应有所改变。本研究比以往的研究在细化和深入上更进了一步,用分期播种法模拟试验不同气候条件下油菜生长发育期间产量对土壤水分和热量的响应,从减少气候变化带来的损失出发,对油菜适应气候变化、适时改变种植技术和种植结构具有一定的生产意义和实用价值。

春油菜单位面积产量的构成是由种植密度、单株角果数和千粒重决定的。决定油菜丰产的内在因素是株角果数和千粒重,而这些基本要素的产生必须有水分和热量做支撑^[4-5],有关旱地油菜产量的研究表明,土壤水分和大气降水是旱作油菜的主要水分来源,水分多少直接影响农作物产量^[6],前人在这方面做了大量的卓有成效的研究,但针对气候变化对油菜生长过程的专门影响研究并不多,尤其是气候变化,水热条件改变对油菜影响的定量研究较少,因此,有必要了解和掌握在气候变化情景下水分和热量条件对油菜生长过程的影响,这将会为应对气候变化、培育新品种、改善栽培措施、种植方式、提高产量提供必要的科学依据。

1 试验方法、区域概况

1.1 试验区概况

试验地在甘肃武威市天祝县安远镇柳树沟村,地处 102°51'E、37°14'N 乌鞘岭北坡,海拔 2 747 m。年平均气温为 0.2℃,降水量在 410 mm 左右,光照充足,无灌溉条件,是典型的雨养农业区。

试验年度的大气候背景:试验点与乌鞘岭气象站直线距离约 3 km,海拔高度相差 200 m,用乌鞘岭站的多年观测平均值评价气候年景可大致代表试验点气候年度变化。2009 年 1 月至 9 月气温除 8 月略偏高外,其余月均比历年同期偏高 0.7℃~3.4℃,全生育期平均气温偏高 1.6℃,降水偏少 8.3%。2010 年 1 月至 9 月气温除 4 月偏低 1.7℃外,其余月比历年同期平均偏高 1.0℃~2.5℃,全生育期平均气温偏高 0.7℃。降水偏少 1.2%。参试作物春油菜经历了 2009 年春夏连旱、2010 年秋季干旱的气候变化。

1.2 试验设计

2009—2010 年进行旱地春油菜在不同气候年景分期播种试验。供试品种:青杂 1 号,播种量 15 kg·hm⁻²;施肥量:播种时施尿素 57 kg·hm⁻²,磷酸二氮 94 kg·hm⁻²,油菜抽薹期,每公顷追施尿素 40 kg。

2009 年 4 月 16 日开始播种第 1 期,每 10 d 播一次,分 4 期播完,每播期 3 重复,小区随机排列,小区面积 120 m²。2010 年播种时间,播期间隔、品种、播种量、施肥均与 2009 年相同。

1.3 测定项目

按中国气象局《农业气象观测规范》标准,从春油菜播种开始分别观测不同播期发育期进程;收获期每小区取样 40 株测定全株角果数、单株重、茎秆重、千粒重等产量结构要素;各小区单打单收记录产量;在试验地安装 6 要素自动气象站(温度、湿度、降水、20 cm 地温、风向、风速)测定气象资料。数据采用 Execl、Spss 统计软件处理分析。

1.4 土壤水分测定与计算方法

在试验地段测定 0~100 cm 土壤物理常数得到不同深度田间持水量、土壤容重、凋萎系数等数据;土壤重量含水量每旬测定一次,用土钻取 0~100 cm 土层土样,分层取土,间隔 10 cm 为一层,置于铝盒中,采用烘干法测定土壤含水量,其公式为:

$$\text{土壤重量含水率} = (\text{土壤鲜质量} - \text{土壤干质量}) / \text{土壤干质量} \times 100\% \quad (1)$$

农田有效贮存量采用《农业气象观测规范》的计算方法,公式为:

$$u_i = \rho_i \times H_i \times (W_i - W_{ik}) \times 10 \quad (2)$$

式中, u 为土层有效贮存量(mm); i 为土层编号; ρ_i 为第 i 层土壤干容重(g·cm⁻³); H_i 为第 i 层土壤厚度(cm); W_i 第 i 层含水率,以占干土质量的百分数计; W_{ik} 为第 i 层凋萎湿度,以重量含水率计。

2 结果分析

2.1 油菜生长期土壤有效贮水量变化

农作物对土壤水分利用主要来自有效水贮存量^[5],用有效贮存量作分析具有较强的实用性。在不同气候年景下,土壤贮水量有所不同,为了更直观看到不同时期的平均贮水量变化,以第 1 播期有效贮水量为例对不同时段变化趋势(多项式)予以分析。2009 年春夏连旱气候情景下油菜地 0~100 cm 平均土层贮水量随时间推移呈先高后低再升高的趋势(图 1a);2010 年秋季干旱的气候背景下油菜地 0~100 cm 平均土层贮水量呈先低后高再降低的趋势(图 1b)。从两年各月的变化情况看,土壤水库在油菜生长前期贮水多,中后期贮水少。这可能是由于前期 5—6 月处在油菜播种、出苗期对水分的需求量不太大,中后期 7—8 月处在抽薹、开花期对水分的需求量较大,9 月处在成熟期对水分的需求量有所减少。

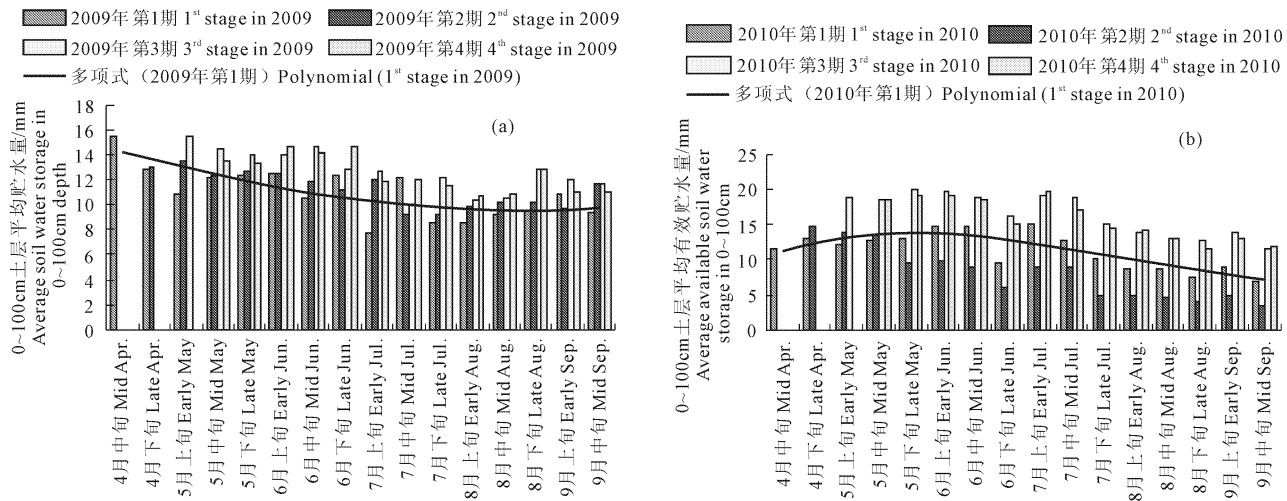


图 1 2009 年(a)、2010 年(b)不同播期油菜地 0~100 cm 平均土层贮水量变化

Fig.1 Change of average soil water storage in 0~100 cm depth under different sowing stages in 2009(a) and 2010(b)

2.2 不同播期油菜对 0~100 cm 土层有效贮水的响应

分析两年不同播期实测的 0~100 cm 土层不同深度有效贮水量在油菜播种、出苗、抽薹、开花、成熟期的平均变化(图 2a,b),不同深度土层贮水随深度增加呈逐渐增加趋势,这与李贤胜、张国胜等^[7-9]的研究基本相同,说明浅层土壤水分被油菜利用多,深

层利用少,但不同年份有差异,2009 年油菜处在春夏连旱情景下,土层贮水随深度增加趋势比 2010 年秋季干旱情景下更明显。在不同播期有效贮水也有差异,2009 年 0~100 cm 土层平均有效贮水 1 播期最少,3 播期最多。2010 年 2 播期最少,3 播期最多。这种差异可能是因油菜播期不同,生长发育期不同,对土壤水分需求不同的响应。

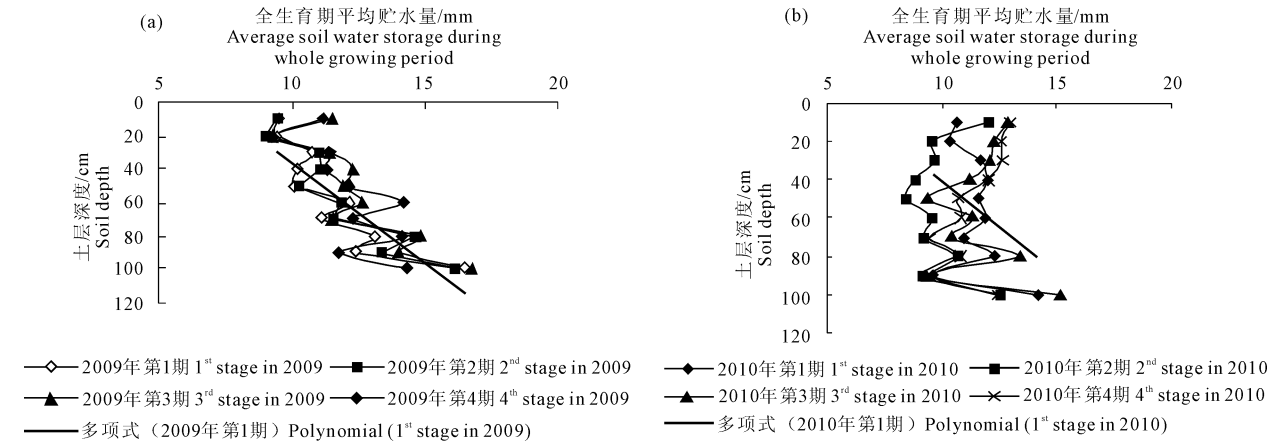


图 2 2009、2010 年油菜各播期不同深度土层全生育期平均贮水变化

Fig.2 Change of average soil water storage in different depth during whole growing period of rape in 2009(a) and 2010(b)

2.3 不同播期油菜生育期间有效贮水量对油菜产量的影响

统计两年 8 个播期播种到出苗、出苗到抽薹、抽薹到开花、开花到成熟期 0~100 cm 土层平均有效贮水与油菜产量相关,薹花期 0~100 cm 土层平均有效贮水与产量相关系数达 0.868;角果出现(开花后)到成熟期 0~100 cm 土层平均有效贮水与产量相关系数达 0.757,分别通过 0.01、0.02 的极显著检验,其它发育期相关不显著,说明薹花期和角果出现到成熟期土壤贮水对产量影响明显。

薹花期有效贮水量与产量的关系式为:

$$Y = 30.713 + 7.170 W_1 \quad (3)$$

$$F = 18.347 \quad F > F_{0.01}$$

角果出现到成熟期有效贮水量与产量的关系式为:

$$Y = 8.561 + 3.013 W_2 \quad (4)$$

$$F = 8.071 \quad F > F_{0.02}$$

(3)、(4)式中 W_1 、 W_2 分别为薹花期、角果出现到成熟期 0~100 cm 土层平均贮水量(mm), Y 为油菜产量(kg·hm⁻²)。由(3)式可知,薹花期土壤贮水

每增加 10 mm,产量增加 $71.7\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$;由(4)可知,角果出现到成熟期土壤平均贮水每增加 10 mm 产量增加 $30.13\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 。

求算上述 2 个发育期的综合影响回归:

$$Y = -32.257 + 22.865W_1 + 4.365W_2 \quad (5)$$
$$F = 14.564 \quad F > F_{0.01}$$

比较 W_1 和 W_2 标准回归系数: W_1 标准系数为 0.646, W_2 标准系数为 0.386。 $W_1 > W_2$,说明在油菜产量形成过程中,薹花期土层贮水比角果出现到成熟期影响大。

2.4 不同播期油菜生育期间降水、热量对油菜产量的影响

表 1 为两年不同播期降水量、热量及产量。两年分期播种的产量作方差分析,2009 年 $F = 5.161$, $F > F_{0.05}$;2010 年 $F = 11.287$, $F > F_{0.01}$,差异显著。

表 1 不同播期水分、热量及油菜产量
Table 1 Climate condition and yield of rape under different sowing stages

处理 Treatment		播种时间 Sowing date (M - d)	千粒重 1000-grain weight/g	平均产量 Mean yield /(kg·hm ⁻²)	降水 Rainfall /mm	全生育期 平均温度 Average temperature /℃	全生育期积温 Accumulated temperature /℃·d	全生育期 0~100cm 有效水贮存 Available water storage in 0~100cm depth/mm
2009	1 期 1st stage	04 - 16	5.02	1304.00	255.5	10.4	1721.9	251.90
	2 期 2nd stage	04 - 26	5.14	1568.89	300.8	10.1	1609.4	297.25
	3 期 3rd stage	05 - 06	4.53	1331.34	282.9	10.3	1559.8	294.03
	4 期 4th stage	05 - 16	3.81	1063.52	299.0	14.2	1673.2	279.79
2010	1 期 1st stage	04 - 16	3.99	482.00	233.2	11.2	1695.3	236.93
	2 期 2nd stage	04 - 26	4.01	709.86	233.2	12.0	1721.4	221.93
	3 期 3rd stage	05 - 06	3.88	476.56	283.5	12.8	1774.2	282.82
	4 期 4th stage	05 - 16	3.21	176.74	283.5	16.2	1793.6	280.71

热量也是影响油菜产量不可缺少的重要因素,积温、日平均气温与油菜产量的负相关显著,两年 8 个播期产量 (Y) 与全生育期日平均气温 (T) 呈显著负相关 ($r = -0.707$),求得回归方程:

$$Y = 2869.372 - 162.984T \quad (7)$$
$$F = 5.988 \quad F > F_{0.05}$$

从(7) 式可得到日平均气温每升高 1°C ,油菜产量减少 $163\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 。

产量 (Y) 与全生育期与 $\geq 0^{\circ}\text{C}$ 积温 ($\sum T$) 呈极显著负相关 ($r = -0.795$),求得回归方程:

$$Y = 9395.366 - 5.023\sum T \quad (8)$$
$$F = 10.301 \quad F > F_{0.01}$$

从(8)式可得到平均积温每升高 $50^{\circ}\text{C}\cdot\text{d}$,油菜产量减少 $251.15\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$,可见气温升高,积温增加,有明显的负效应,使油菜减产。

从表 1 可知,2009 年降水比 2010 年多 10.1%,日平均气温低 1.85°C , $\geq 0^{\circ}\text{C}$ 积温少 $105.2^{\circ}\text{C}\cdot\text{d}$,产量高 65%。分析降水、积温、气温对产量的影响,降水与油菜产量从表面上看相关不显著,但降水与土壤贮水相关很显著,用两年试验测定的全生育期 0~100 cm 有效贮水量 (W) 与对应年份降水量 (R) 计算相关 ($r = 0.945$) 达极显著水平,据此求得回归式:

$$W = 7.218 + 0.961R \quad (6)$$
$$F = 50.471 \quad F > F_{0.01}$$

由(6)得到降水每增加 10 mm,全生育期 0~100 cm 有效贮水量增加 9.61 mm,说明旱作区土壤有效贮水主要来自自然降水。土壤贮水又与产量呈显著正相关,可见降水渗透到土壤转化成土壤贮水后才影响油菜产量,因此降水是油菜产量间接影响因素,土壤贮水是直接影响因素。

3 提高油菜产量的应对措施

近年随着气候变暖,气象干旱灾害明显增多,对农作物危害也不断加剧,2009 年油菜生长期降水比 2010 年偏少,油菜产量偏高。根据试验结果,在高海拔旱作区种植春油菜,首先要选择适宜本地区的抗旱喜温品种,提高作物自身的抗旱能力,减轻干旱危害;其次要提前了解气象部门气候预测,在有春旱发生年份,应推迟播种,一般比习惯播种期推迟 10 d 左右,躲避春旱时段,使油菜开花期处在不旱时段。在有秋旱年份,提前 10 d 左右安排播种,减少秋旱危害,提高土壤水分的利用率;第三要积极适应气候变化、及时改变种植技术和种植结构,降水较少的年份多种抗旱耐旱作物,少种油菜,减轻干旱造成损失。通过采取这些措施能在一定程度上克制或减轻干旱气象灾害带来的不利影响。

[10] 高俊凤. 植物生理学实验指导[M]. 北京: 高等教育出版社, 2006.

[11] 刘 萍, 李 明. 植物生理学实验技术[M]. 北京: 科学出版社, 2007.

[12] Cliquet JB. C and N mobilization from stalk and leaves during kernel filling by ¹³C and ¹⁴N tracing in zea maize[J]. Plant Physiology, 1990, 94: 1547-1553.

[13] 易镇邪, 王 璞, 张红芳, 等. 氮肥类型与施用量对华北平原夏玉米源库关系的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2006, 12(3): 294-330.

[14] Anil K G, Narinder K. Sugar signalling and gene expression in relation to carbohydrate metabolism under abiotic stresses in plants[J]. J. Biosciences, 2005, 30(5): 761-776.

[15] Cheng C L, Acedo G N, Cristinsin M, et al. Sucrose mimics the light induction of Arabidopsis nitrate reductase gene transcription[J]. Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A., 1992, 89: 1861-1864.

[16] Lee H J, Titus J S. Relationship between nitrate reductase activity and level of soluble carbohydrates under prolonged darkness in MM. 106 apple leaves[J]. J. Hortic. Sci., 1993, 68: 589-596.

[17] 邓英毅, 郑 虚. 作物叶中蔗糖磷酸合成酶的生物学功能与调控的研究进展[J]. 广西科学院学报, 2009, 25(1): 65-71.

[18] 谢祝捷, 姜 东, 戴廷波, 等. 植物的糖信号及其对碳氮代谢基因的调控[J]. 植物生理学通讯, 2002, 38(4): 399-405.

[19] 李建敏, 王振林, 高荣岐, 等. 强、弱筋小麦籽粒形成期蔗糖、淀粉合成相关酶活性及其与氮代谢的关系[J]. 作物学报, 2008, 34(6): 1019-1026.

[20] Crawford N M. Nitrate nutrient and signal for plant growth[J]. Plant Cell, 1995, 7(7): 859-868.

[21] 关义新, 林 葆, 凌碧莹. 光氮及其互作对玉米幼苗叶片光合和碳氮代谢的影响[J]. 作物学报, 2000, 26(6): 806-812.

[22] Cr  t   P, Caboche M, Meyer C. Nitrite reductase expression is regulated at the post-transcriptional level by the nitrogen source in Nicotiana glauca and Arabidopsis thaliana[J]. Plant J., 1997, 11(4): 625-634.

(上接第 109 页)

4 结论与讨论

本试验表明,高海拔旱地油菜土壤有效贮水量在油菜生长发育前期较大,后期较小,这可能与不同油菜发育期对需水量的多少有关,油菜生长前期对土壤水分需求量较小,后期较大。直接影响旱地土壤有效贮水量的关键因素是降水量,降水量与 0~100 cm 土层平均有效贮水量呈极显著正相关,降水增加贮水量增加。在本试验条件下,降水每增加 10 mm,0~100 cm 土层平均有效贮水量增加 9.61 mm。土壤有效贮水量对油菜产量影响关键时段是油菜薹花期和角果发育期,这两个发育期 0~100 cm 土层平均有效贮水量多,油菜产量增加,反之产量减少。在气候变化过程中,日平均温度、积温对油菜产量影响较明显,在高海拔地区日平均气温升高,积温增加,不利于油菜产量提高,反而使油菜产量减少。

本研究从高海拔旱地油菜对环境条件的响应出发,按发育阶段用统计学原理定量分析不同播期油菜生育期间土壤有效贮水量动态变化以及水、热条件与产量的关系,揭示了油菜产量对土壤贮水量和热量的响应方式。提出在不同气候年景下,通过播期调整、改变种植技术和种植结构等措施,对积极适应气候变化、提高油菜高产稳产方面有着积极意义。农作物应对气候变化的研究有许多不确定性,为了

扩大涵盖面,应该在气候多因子影响方面深入探讨,探索更多的方法提高土壤水分利用率,保持油菜高产稳产。油菜产量不稳定及差异是多要素综合影响结果,这种差异不仅仅是受气候要素的影响,可能还与肥料、地理环境和自身生理特征等因素有关,这些有待进一步深入研究。

参 考 文 献:

[1] 王鹤龄,王润元,邓振镛,等. 甘肃省过去 20 年作物布局演变及其变暖的响应研究[C]//中国西北地区农作物对气候变化的响应,北京:气象出版社,2008:236-242.

[2] 肖国举,张 强,王 静. 全球气候变化对农业生态系统影响的研究进展[J]. 应用生态学报,2007, 18(8): 1877-1885.

[3] 刘德祥,董安祥,梁东升,等. 气候变暖对西北干旱区农作物种植结构的影响[J]. 中国沙漠,2007, 27(5): 687-691.

[4] 李 然,冯中朝. 中国油菜单产增长要素贡献率分析[J]. 中国油料作物学报,2010, 32(1): 152-155.

[5] 孙培良,徐法彬,杨士恩,等. 聊城土壤水分年际变化规律研究[J]. 中国农业气象,2009, 30(S2): 193-195.

[6] 李贤胜,尚 健,胡德春,等. 宣城市主要旱耕地土壤类型的水分特征[J]. 土壤,2006, 38(3): 349-351.

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

[8] 张国胜,李 林,徐维新. 青海省东部农业区旱地土壤水分演变特征分析[J]. 中国沙漠,2000, 20(3): 314-316.

[9] 赵聚宝,梅旭荣. 晋东南地区旱地农田土壤水分状况及水分循环特征[J]. 中国农业科学,2009, 25(6): 1-8.