

陇东黄土高原气候变化对玉米叶面积生长的影响研究

王宁珍^{1,2}, 邓振镛¹, 张谋草², 吕峰平³, 翟晓琴³

(1. 中国气象局兰州干旱研究所, 甘肃省干旱气候变化与减灾重点实验室, 甘肃 兰州 730020;
2. 甘肃省西峰农业气象试验站, 甘肃 西峰 745000; 3. 甘肃省庆阳市气象局, 甘肃 西峰 745000)

摘 要: 通过对西峰农业气象试验站观测的玉米叶面积指数资料变化分析得出: 玉米叶面积指数年内变化呈缓慢增长—快速增长—缓慢下降趋势; 年际变化因发育期不同, 环境因子不同, 存在着较大差异; 叶面积指数的变化与降水相关较好, 与积温和日照仅在三叶~七叶期呈现正效应, 其它时段相关不显著; 玉米产量与抽雄和乳熟期叶面积指数显著相关, 抽雄期叶面积指数小于3时, 产量不高, 达到4以上时, 产量开始下降, 叶面积指数适合范围为3~4, 高产田为3.5以上。

关键词: 气候变化; 玉米; 叶面积指数; 陇东

中图分类号: S513 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-7601(2006) 02-0189-06

叶是植物进行光合作用, 制造有机物质的重要器官, 也是植物进行蒸腾作用和气体交换的重要场所。在一定范围内, 叶面积愈大, 光合作用积累的有机物质愈多, 产量便愈高。玉米是陇东黄土高原第二大粮食作物, 种植面积逐年增加, 不仅作为粮食供人畜食用, 而且可作为生产淀粉等的主要原料, 用途愈来愈广, 价值愈来愈高。本文分析陇东黄土高原玉米叶面积指数年内、年际变化规律, 以及气候变化对叶面积变化的影响, 探讨叶面积和产量的关系, 对于农业生产采取促控措施以获得高产, 具有重要的意义。

1 研究区概况与资料来源

陇东黄土高原位于甘肃东部, 属黄河中游黄土高原沟壑区, 地形复杂, 气候资源丰富, 雨、热同期, 作物种植品种多, 生产潜力大。但相对于其它地区来说, 该区绝大多数地区地下水资源和地表水资源不足且利用成本高, 因而是一个典型的雨养旱作农业区。年降水量531.0~627.4 mm, 主要集中在4~10月, 占年降水量的88%~92%; 同期月平均气温为8.8~12.7℃, 接近或超过10℃; 10 cm地温则均在10℃以上, 为10.4~14.2℃, 高于同期气温。4~10月雨热同期, 是该地区作物特别是喜温作物的活跃生长期。近年来, 随着全球气候变化, 该区气候趋于

暖干, 干旱频发。西峰位于陇东黄土高原中南部的董志塬, 是陇东黄土高原中最大的一个塬, 面积达910 km², 海拔高度1421.9 m, 位于北纬35°44′, 东经107°38′, 年平均气温8.9℃, 年平均降水量527 mm, 年平均日照时数2 450 h, 粮食作物主要是冬小麦和玉米, 气候和农业生产在陇东黄土高原具有较强的代表性。

叶面积指数资料取自甘肃省西峰农业气象试验站, 按照《农业气象观测规范》规定, 对玉米三叶、七叶、拔节、抽雄、乳熟等5个关键发育期采用面积法^[1]测定; 气象资料取自与试验地毗邻的西峰国家基准气候站; 产量资料来自西峰区统计局。资料年代均为1994~2004年。

2 结果分析

2.1 叶面积指数的年内变化

由叶面积指数(1994~2004年平均值)年内变化曲线(图1)可知: 叶面积指数年内变化呈缓慢增长—快速增长—缓慢下降趋势。七叶期以前缓慢增加, 七叶期以后快速增加, 抽雄期达最大值, 抽雄期过后缓慢下降, 这是因为玉米七叶期以前, 以根系形成中心, 七叶以后, 抽雄以前, 以营养生长为中心, 作为重要营养器官的叶子是养分运输中心, 营养供

应充足,生长速度较快,抽雄以后,随着生殖器官的出现,植物便由营养生长进入生殖生长,生殖器官就上升为养分运输中心,生殖器官生长速度加快,营养器官生长速度减缓,并且植株下部叶片开始出现黄枯,所以抽雄期后叶面积指数缓慢下降。

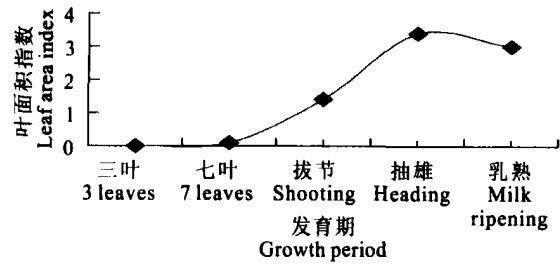


图1 叶面积指数年变化曲线
Fig.1 The annual change of leaf area index of corn

本区属旱作雨养农业区,光热资源丰富,降水是影响农业生产的主要因素。通过11 a 资料分析,叶面积指数与降水显著相关,正常年份(玉米全生育期降水量320~350 mm),七叶期叶面积指数为0.1,拔节期叶面积指数为1.1~1.8,抽雄期叶面积指数为3.0~3.9,乳熟期叶面积指数为3.2;丰产年份(玉米全生育期降水量410~530 mm),七叶期叶面积指数为0.1,拔节期叶面积指数为1.5~1.9,抽雄期叶面积指数为3.6~4.0,乳熟期叶面积指数为2.9~3.2;欠收年份(玉米全生育期降水量在190 mm 以下),七叶期叶面积指数为0.1,拔节期叶面积指数为0.9~1.3,抽雄期叶面积指数为2.6~3.3,乳熟期叶面积指数为2.1~3.2。

2.2 叶面积指数年际变化

从玉米不同发育期叶面积指数年际变化(图2)来看,同一生长发育期,叶面积指数因年际间的气候等环境因子不同而不同,说明气候等环境因子对叶面积指数的变化具有较大影响,而且在不同时期影响不同,七叶以前,影响较小,七叶以后,影响较大,抽雄期叶面积指数和乳熟期叶面积指数年际变化趋势基本一致,这是因为七叶以前,叶面积指数较小,七叶以后,玉米叶面积进入旺盛生长期,对气候等环境因子较敏感,抽雄后,叶的增长渐趋停止,进入开花、授粉、结实阶段。

比较分析各气候因子对叶面积指数年际变化的影响,降水是主导因子,尤其是拔节以后,玉米进入旺盛生长期,对水分要求较高,降水多,叶面积指数上升,降水少,叶面积指数下降,叶面积指数与相应时段降水变化趋势一致(图3)。如1996年,玉米七叶~抽雄期降水量209.5 mm,而1997年和2001年同

期降水量仅46.3 mm 和92.5 mm,所以1996年抽雄期叶面积指数出现较高值,1997年和2001年抽雄期叶面积指数出现较低值。

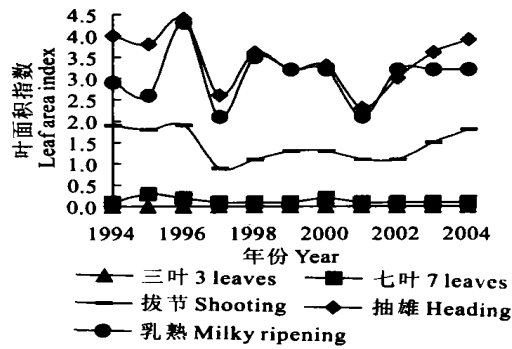


图2 叶面积数随年代变化曲线
Fig.2 The change of leaf area index of corn with years

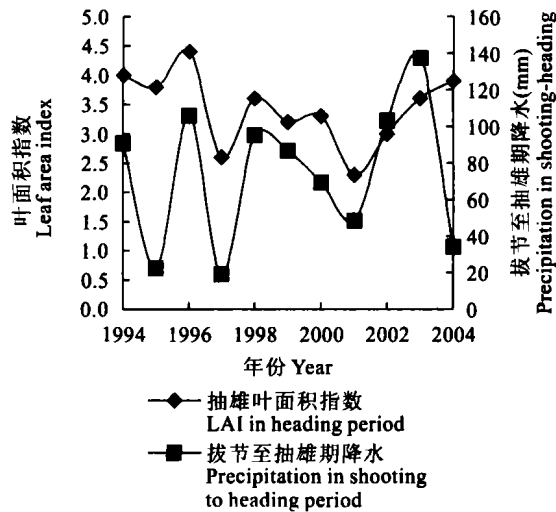


图3 不同年代抽雄期叶面积指数及拔节到抽雄期降水

Fig.3 The leaf area index in heading period and the precipitation in shooting to heading period in different years

2.3 叶面积指数与气象条件的关系

2.3.1 叶面积指数与积温 玉米从播种出苗到成熟的整个生长发育期间,对温度的要求不同,本区玉米全生育期处在春季升温、夏季高温和秋季迅速降温时期,这种温度变化趋势和玉米各生育期对温度的要求相一致。通过对玉米发育期叶面积指数(1994~2004 年平均值)与相应时段的积温(1994~2004 年平均值)相关分析(见表1),抽雄和乳熟期叶面积指数与播种到三叶期积温呈显著负相关,七叶期叶面积指数与三叶到七叶期积温、抽雄期叶面积指数与抽雄到开花期积温呈显著正相关,相关系数分别达-0.6482、-0.6668、0.7582 和 0.6395,均通过 $R_{0.001}$ 相关检验。

表1 不同发育期叶面积指数与各发育期≥0℃ 积温相关系数

Table 1 The correlation coefficients between leaf area index and ≥0℃ accumulated temperature in different growth periods

叶面积指数 LAI	发育期 Growth period								
	三叶 3 leaves	七叶 7 leaves	拔节 Shooting	抽雄 Heading	开花 Blooming	吐丝 Silk	乳熟 Milkripening	成熟 Mature	全生育期 Whole growing period
七叶 Seven leaves	-0.2569	0.7582***	-0.2355	-0.1988	0.5203	0.2997	-0.4141	0.5871	0.5606*
拔节 Shooting	-0.3937	0.1057	0.0690	-0.3517	0.5348	0.0708	-0.0062	-0.1398	-0.0857
抽雄 Heading	-0.6482**	0.2746	-0.1662	-0.0991	0.6395	-0.0189	-0.0914	0.0251	0.0107
乳熟 Milk ripening	-0.6668**	0.2644	-0.3794	0.2625	0.4311	-0.3503	-0.0708	0.0222	-0.0722

注:表中***表示通过 $R_{0.01}$ 检验,**表示通过 $R_{0.05}$ 检验,*表示通过 $R_{0.01}$ 检验; $n=11$ 。
Note:***, ** and * represent significant level at 0.01, 0.05 and 0.1 respectively; $n=11$.

玉米幼苗期,温度适当偏低,可延长营养生长期,有利于“蹲苗”,以促进根系深扎,增强根系从土壤深处吸取水分和营养的能力,抵御频发的春旱,有利于拔节以后叶面积的迅速增长,抑制抽雄后下部叶片早衰。三叶期以后,玉米逐渐进入旺盛生长期,对热量条件要求较高,但本区5月气温不稳定,常常会出现霜冻,对玉米生长造成较大影响,因此七叶期叶面积指数与三叶到七叶期积温、抽雄期叶面积指数与抽雄到开花期积温呈显著正相关。

2.3.2 叶面积指数与降水 玉米是一种需水较多的作物,全生育期耗水量约350~400 mm^[2]。本区玉米生育期间平均降水量400~450 mm,从降水总量而言,基本上可以满足要求,但由于各时段降水分配不均,年际变化大,有些时段干旱明显,对叶面积的增长和产量形成较大影响。计算了玉米各发育期叶面积指数(1994~2004年平均值)与相应时段和全生育期降水量(1994~2004年平均值)相关系数(见

表2),玉米乳熟期叶面积指数与七叶到拔节、拔节到抽雄期和全生育期降水显著相关,相关系数分别达0.616 3、0.648 9和0.678 6,通过 $R_{0.01}$ 相关检验。七叶到拔节和拔节到抽雄期是玉米叶片增大、茎节伸长等营养器官旺盛生长和雌雄穗等生殖器官强烈分化与形成期,这时期是玉米一生中生长发育最旺盛的阶段,是需水的关键期,降水充足,可促进中上部叶片增大,防止下部叶片早衰;若干旱缺水,会出现“卡脖旱”,抑制叶片增长,促使下部叶片早衰,使叶面积指数下降。

通过统计分析,得到下列方程:
$$Y=1.729\ 2+0.007\ 5X_1+0.0026X_2+0.00251X_3$$
$$R=0.7286$$
式中, Y 为乳熟期叶面积指数, X_1 为七叶~拔节期降水, X_2 为拔节~抽雄期降水; X_3 为全生育期降水。

表2 不同发育期叶面积指数与各发育期降水相关系数

Table 2 The correlation coefficients between leaf area index and precipitation in different growth periods

叶面积指数 LAI	发育期 Growth period								
	三叶 3 leaves	七叶 7 leaves	拔节 Shooting	抽雄 Heading	开花 Blooming	吐丝 Silk	乳熟 Milk ripening	成熟 Mature	全生育期 Whole growing period
七叶 Seven leaves	-0.3863	-0.2589	-0.0404	-0.2929	0.5926**	0.0373	0.0402	0.2629	-0.1339
拔节 Shooting	-0.3918	-0.3216	0.1953	0.0932	0.3158	-0.1089	0.2943	0.2655	0.1306
抽雄 Heading	-0.0866	0.0240	0.2153	0.3191	0.2367	-0.1246	0.3735	0.1767	0.3837
乳熟 Milk ripening	0.2484	0.4239	0.6163**	0.6489**	0.0985	-0.0538	0.3639	-0.0260	0.6786**

2.3.3 叶面积指数与日照 玉米是喜温的短日照作物,本区玉米全生育期日照时数900~1 100 h,基本能满足玉米生长发育的需要,但生长前期若出现低温寡照天气,对叶面积的增长造成一定影响。玉米各发育期叶面积指数(1994~2004年平均值)与相应时段的日照时数(1994~2004年平均值)相关分

析得出(见表3),玉米七叶期叶面积指数与三叶到七叶期日照显著相关,相关系数达0.5719,通过 $R_{0.01}$ 相关检验;玉米拔节以前,正处在春季升温期间,天气多变,此时光照充足,天气晴好,有利于光合作用和养分运输,促进根系发育和营养生长。

表 3 不同发育期叶面积指数与各发育期日照时数相关系数

Table 3 The correlation coefficients between leaf area index and sunlight hours in different growth periods

叶面积指数 LAI	发育期 Growth period								
	三叶 3 leaves	七叶 7 leaves	拔节 Shooting	抽雄 Heading	开花 Blooming	吐丝 Silk	乳熟 Milk ripening	成熟 Mature	全生育期 Whole growing period
七叶 Seven leaves	-0.2007	0.5719 **	-0.2442	-0.0192	0.2574	0.3050	-0.2972	0.2448	0.2613
拔节 Shooting	0.0452	-0.0240	0.0801	-0.2610	0.4716	-0.0217	-0.1023	-0.4446	-0.1654
抽雄 Heading	-0.3348	0.2697	-0.1481	-0.2129	0.6077	-0.1232	-0.2034	-0.1714	-0.2550
乳熟 Milk ripening	-0.5871	0.3914	-0.4394	0.1529	0.4696	-0.3486	-0.2058	0.0914	-0.2992

2.4 玉米全生育期不同降水年型叶面积变化情况

在分析的 1994~2004 年这 11a 中,玉米全生育期降水量平均为 326 mm,丰沛年份为 1996 年和 2003 年,降水量分别为 415.5 mm 和 530.6 mm;正常年份为 1999、2002 和 2004 年,降水量分别为 324.2 mm、353.9 mm 和 336.1 mm;干旱年份为 1997 年和 1994 年,降水量分别为 190.3 mm 和 222.4 mm。选取有代表性的 2004 年(降水正常)、1996 年(降水丰沛)和 1997 年(干旱)(见表 4)进行分析,叶面积指数年变化如图 4 所示,由图可以看出,不同降水年型叶面积变化趋势基本一致,但变化速率不同。

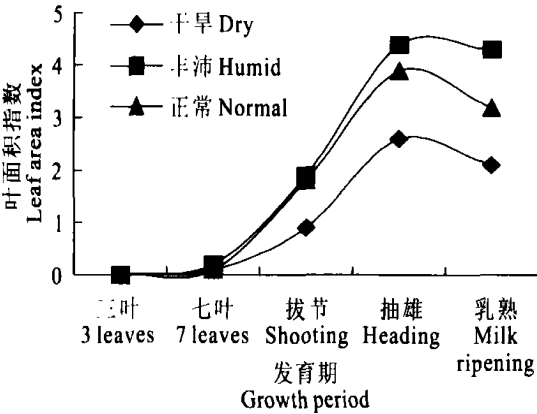


图 4 不同气候年型叶面积指数变化曲线

Fig. 4 The change curve of leaf area index in different climate years

2.4.1 降水丰沛年份 降水丰沛年份,叶面积指数七叶以前缓慢增长,七叶后迅速增长,抽雄期达最大值,其值可达 4.0 以上,抽雄后开始缓慢下降,但与抽雄期相差甚小。

在分析的 11a 中,1996 年玉米全生育期降水量 415.5 mm,属降水量次多年,但抽雄期叶面积指数达最大值(4.4),至乳熟期(4.3)仅下降了 0.1。而

2003 年是玉米全生育期降水量最多的一年,达 530.6 mm,但抽雄期叶面积指数仅 3.6,至乳熟期降至 3.2,下降了 0.4。虽然拔节~抽雄期这两年降水量接近,但 1996 年玉米三叶~拔节、抽雄~乳熟降水量达 103.6 mm 和 132.1 mm,而 2003 年同期仅 84.7 mm 和 54.5 mm,2003 年的降水主要出现在乳熟~成熟(227.6 mm)期,此时的降水主要供给穗部,以穗部的干物质积累为主。

2.4.2 干旱少雨年份 干旱少雨年份,叶面积指数在拔节以前缓慢增长,拔节至抽雄快速增长,抽雄后迅速下降。干旱年份的 1997 年和 1994 年玉米全生育期降水量虽接近,但生长关键期(拔节~抽雄)降水相差较大(19.1 mm 和 90.9 mm),致使抽雄期叶面积指数相差较大(2.6 和 4.0),抽雄至乳熟期降水 95 mm 和 68.6 mm,乳熟期 1997 年叶面积指数下降较小(从 2.6 下降到 2.1),而 1994 年下降较大(从 4.0 下降到 2.9)。说明抽雄以后叶面积指数虽不再增长,但水分供应充足,可延缓下部叶片干枯死亡,从而减缓叶面积指数下降。

2.4.3 降水正常年份 降水正常年份,叶面积指数变化在抽雄以前同雨水丰沛年,抽雄以后其曲线变化同干旱少雨年份。抽雄期最大值可达 3.2~3.9,抽雄后叶面积指数迅速下降,到乳熟期达 3.0~3.2。其值始终处于干旱少雨年与降水丰沛年之间。降水正常的 1999、2002 和 2004 年,玉米各生育期降水分布均匀,叶面积指数接近,变化较平稳。

2.5 玉米叶面积指数与产量的关系

玉米是高光效的高产作物,叶面积指数小,光合产物少;叶面积指数过大,叶片遮阴,光合效率低,产量也不高。表 5 是玉米不同年份各发育期叶面积指数和产量,由此可知,陇东黄土高原玉米抽雄期叶面积指数小于 3 时,产量不高,达到 4 以上时,产量开始下降,叶面积指数适合范围为 3~4,高产田 3.5 以上。

表4 玉米生长不同气候年型各要素值

Table 4 The value of growth factors of maize in different climate years

项 目	Item	播种~三叶 Sowing~3 leaves	三叶~七叶 3 leaves~7 leaves	七叶~拔节 7 leaves~ shooting	拔节~抽雄 Shooting~ heading	抽雄~乳熟 Heading~Milk ripening	全生育期 Wholeg rowing period	产量 Yield (kg/hm ²)
1996 年 (降水丰沛) 1996(Humid)	降水量 Precipitation	15.3	31.4	72.2	105.9	132.1	415.5	6990.0
	叶面积指数 Leaf area index	0.0	0.2	1.9	4.4	4.3		
1997 年 (干旱少雨) 1997(Dry)	降水量 Precipitation	28.8	17.7	9.5	19.1	95.0	190.3	2880.0
	叶面积指数 Leaf area index	0.0	0.1	0.9	2.6	2.1		
2004 年 (降水正常) 2004(Normal)	降水量 Precipitation	46.7	7.1	34.0	34.2	146.1	336.1	7470.0
	叶面积指数 Leaf area index	0.0	0.1	1.8	3.9	3.2		

表5 不同年份玉米各发育期叶面积指数和产量

Table 5 The leaf area index of various growth periods and yield of corn in different years

叶面积指数 LAI	年代 Year										
	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004
七叶 Seven leaves	0.1	0.3	0.2	0.1	0.1	0.1	0.2	0.1	0.1	0.1	0.1
拔节 Shooting	1.9	1.8	1.9	0.9	1.1	1.3	1.3	1.1	1.1	1.5	1.8
抽雄 Heading	4.0	3.8	4.4	2.6	3.6	3.2	3.3	2.3	3.0	3.6	3.9
乳熟 Milk ripening	2.9	2.6	4.3	2.1	3.5	3.2	3.2	2.1	3.2	3.2	3.2
产量 Yield(kg/hm ²)	7986.0	5340.0	6990.0	2880.0	6765.0	6450.0	4266.0	3795.0	7530.0	7873.5	7470.0

表6 玉米不同发育期叶面积指数与产量相关系数

Table 6 The correlation coefficients between leaf area index of various growth periods and yield of corn

叶面积指数 LAI	七叶 Seven leaves	拔节 Shooting	抽雄 Heading	乳熟 Milk ripening	西峰区产量 Yield(kg/hm ²)
七叶 Seven leaves	1.0000				
拔节 Shooting	0.4385	1.0000			
抽雄 Heading	0.3778	0.8641	1.0000		
乳熟 Milk ripening	0.1230	0.4319	0.7367	1.0000	
西峰区产量 Yield(kg/hm ²)	0.2130	0.5525	0.6787 **	0.6466 **	1.0000

注:表中* *表示通过R_{0.05}检验,n=11. Note: * * represents significant level at 0.05; n=11.

分析玉米各发育期叶面积指数和产量相关(见 表 6),玉米产量与抽雄和乳熟期叶面积指数显著相关,相关系数分别达 0.6787 和 0.6466。陇东黄土高原玉米抽雄一般在7 月上、中旬,乳熟在8 月中旬,此时本区常常会出现伏旱,影响营养生长和雌、雄穗等生殖器官的形成,以及灌浆乳熟,同时使植株下部叶片黄枯,中上部叶片卷缩,影响光合作用,使干物质积累减少,进而影响产量。

利用统计分析方法,综合分析玉米叶面积指数对产量的影响,得到下列方程:

$$Y = -64.6979 + 83.9833X_1 + 60.7524X_2$$
$$R = 0.7125$$

式中,Y 为产量,X₁ 为抽雄期叶面积指数,X₂ 为乳熟期叶面积指数。

3 结论及讨论

1) 陇东黄土高原玉米叶面积指数年内变化是:七叶期以前缓慢增长,七叶期以后快速增长,至抽雄期达最大值,抽雄期过后缓慢下降。年际变化是:同一发育期,年份不同,变化趋势不同;不同发育期,进入旺盛生长期(拔节期)后,年份不同,变化趋势基本一致。

2) 在品种和田间管理相同的情况下,叶面积指数的变化主要受降水条件的影响,尤其是七叶~抽雄期降水,此时若出现干旱,影响叶面积增长速度,同时可使植株下部叶片出现早枯,中上部叶面积增长减缓或停止。

3) 在一定范围内,产量随叶面积指数增加而提高,叶面积指数越高,产量越高。陇东黄土高原玉米抽雄期叶面积指数小于 3 时,产量不高,达到 4 以上

时,产量开始下降,叶面积指数适合范围为 3~4,高产田 3.5 以上。在农业生产管理上,苗期要适时间苗、定苗,合理密植,增加叶面积指数;穗期要保证足够的水肥条件,使雄穗的小穗、小花和雄穗的花粉发育良好,并获得较大的叶面积指数;花粉期要最大限度保持绿叶面积和延长绿叶功能时间,以促进灌浆。

参 考 文 献:

[1] 国家气象局.《农业气象观测规范》(上卷)[M].北京:气象出版社,1993.6,29.
[2] 邓振镛.高原干旱气候作物生态适应性研究[M].北京:气象出版社,2005.

Effects of climate change on leaf area of
maize on Loess Plateau in east Gansu

WANG Ning-zhen^{1,2}, DENG Zhen-yong¹, ZHANG Mou-cai², LU Feng-ping³, ZHAI Xiao-qin³

(¹. Key Laboratory of Arid Climate Change and Reducing Disaster,
Institute of Arid Meteorology, CMA, Lanzhou 730020, China;

². Xifeng Agro-meteorological Experiment Station of Gansu Province, Xifeng, Gansu 745000, China;

³. Qingyang Meteorological Bureau, Xifeng, Gansu 745000, China)

Abstract: By analyzing the data of leaf area index of maize observed in Xifeng Agro-meteorological Experiment Station, it is found that the changing trend of leaf area index in the growth period of maize is slow increase-rapid increase-slow decrease. The leaf area index of various growth periods is much different among years, which is mainly caused by the differences of environmental factors. There is a close correlation between the change of leaf area index and the precipitation, and the leaf area index is positively related to the accumulated temperature and sunlight hours in three leaves to seven leaves period, but not remarkably related to those in other periods. The yield of maize is remarkably related to the leaf area index in heading and milk mature period. When the leaf area index in heading period is less than 3, the output is low; when it is higher than 4, the output begins to decrease; the ideal range of leaf area index is 3~4.

Key words: east Gansu; climate change; leaf area index of maize

(上接第 182 页)

Discussion on water shortage and
countermeasures in northwest regions of China

SHI Kang-li¹, LIU Yuan-ying¹, WAN Liang-ting¹, ZHANG Xue-zhen²

(¹. Yangling Vocational and Technical College, Yangling, Shaanxi 712100, China;

². Faculty Environment Science and Engineering, Cheng'an Univercity, Xi'an 710054, China)

Abstract: This paper analyzes the problem of water shortage in northwest regions of China, and proposes that natural change is the main reason that causes the meteorological drought; The connatural shortage of water resource is the most important factor that results in the severe inconsistency between water supply and demand and the fragility of ecological environment; It is necessary to conduct investigation and research so as to find the practical and realistic ways to solve the problem of water resource in northwest regions. Finally, it puts forward the countermeasures and suggestions.

Key words: northwest regions of China; water shortage; ecological environment; development of western regions; inter-regional water transfer; countermeasure and suggestion