

长岭县不同降水年型玉米需水规律研究

段佩利, 秦丽杰

(东北师范大学地理科学学院, 吉林 长春 130024)

摘要: 在长岭县开展玉米大田试验, 探讨在相同的土壤及农田管理条件下, 不同降水年型(丰水年、平水年、枯水年和极枯水年)玉米生长需水及水分来源的变化规律。结果表明: 玉米生长过程中各个阶段需水量不同, 中期最大, 初期和后期较小; 2007 年(极枯水年)玉米生长需水量最大(460.2 mm), 2006 年(枯水年)次之(423.8 mm), 2008 年(平水年)再次之(393.5 mm), 2005 年(丰水年)最小(342 mm), 越是干旱的年份玉米生长需水量和单位质量玉米生长需水量越大; 丰水年玉米生长需水量与有效降水量的耦合度最高, 平水年次之, 枯水年再次之, 极枯水年最低; 2005—2008 年土壤水消耗量依次为 79.8 mm、199.1 mm、222.7 mm 和 104.6 mm, 越是干旱的年份土壤水消耗量越大; 玉米生长过程中 7 月和 8 月土壤水消耗量较大, 应适当增加灌溉。

关键词: 生长需水量; 降水年型; 玉米; 长岭县

中图分类号: S513.01 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-7601(2014)04-0256-06

Water requirement of maize under different precipitation years in Changling County, Jilin Province

DUAN Pei-li, QIN Li-jie

(College of Geographical Science, Northeast Normal University, Changchun, Jilin 130024, China)

Abstract: According to the field experiment in Changling County, Jilin Province, the water requirement of maize growth and the changes of water source in different years (wet year, normal year, dry year and extremely dry year) based on the same soil and farm management conditions were discussed. The results showed that water demand was different in different stages of maize growth. It reached the highest at mid-development stage, and was relatively small at early and late stage. According to the water requirement of maize growth, the test years were sequenced as: 2007(460.2 mm) > 2006(423.8 mm) > 2008(393.5 mm) > 2005(342 mm). The drier the year was, the more the total water amount and water per unit dry weight were required. The coupling degree of water requirement and effective precipitation was the highest in wet year, followed by normal year and dry year, and the lowest in extremely dry year. The soil water consumption from 2005 to 2008 was 79.8 mm, 199.1 mm, 222.7 mm and 104.6 mm, respectively. The drier the year was, the more the soil water was consumed. During the growth period of maize, the soil water consumption was much great in July and August, thus it was necessary to increase irrigation appropriately.

Keywords: water requirement; precipitation year; maize; Changling County

近几十年来, 由于气象条件的变化, 引起作物生长需水量和农田灌溉需水量的增大, 使得农业需水量增加, 加剧了农业水资源的供需矛盾^[1-4]。通过对不同降水年型作物生长需水规律的研究, 探讨同一种作物在相同的管理方式及灌溉条件下, 降水对作物生长需水量的满足程度, 为节水灌溉管理和提高农田水分利用效率提供依据^[5-6]。

玉米是长岭县的主要农作物, 播种面积占农作

物总播种面积的 65% 以上。长岭县干旱缺水, 生态环境脆弱, 水是玉米生产的主要制约因素。本文通过在长岭县开展玉米大田试验, 探讨在相同的土壤及农田管理条件下, 不同降水年型(丰水年、平水年、枯水年和极枯水年)玉米生长需水及水分来源的变化规律。在对长岭县不同降水年型玉米生长需水量的计算与分析的基础上, 进一步探讨玉米生长需水量与有效降水量的耦合度及其对土壤水的影响, 以

收稿日期: 2013-04-05

基金项目: 教育部人文社会科学规划基金项目(10YJA840032); 中央高校基本科研业务费专项资金项目(12SSXT150)

作者简介: 段佩利(1986—), 女, 山东烟台人, 博士研究生, 主要从事水资源与水环境研究。E-mail: duanpl069@nenu.edu.cn。

通信作者: 秦丽杰(1966—), 女, 辽宁阜新人, 博士, 教授, 主要从事水资源与水环境研究。E-mail: qinlj953@nenu.edu.cn。

实现水资源的合理利用,保护生态环境,促进农业的可持续发展。

1 试验设计与研究方法

1.1 试验区概况

试验区位于吉林省西部长岭县的东北师范大学松嫩草地生态研究站(44°40'N,123°44'E)附近的农田,农田土壤类型为风沙土,其中砂占61%,粉砂占18%,粘粒占21%,田间持水量为24.3%,永久萎蔫点为3.6%,土壤有机质含量相对较低。研究区年平均温度5.2℃,活动积温2920℃,无霜期140~160d,年平均降水量453mm,约70%的降水量集中在6—8月份。年平均蒸发量1600mm,约是降水量的3.5倍。年平均风速3.5m·s⁻¹,春季平均风速最大,春季风速在10.8~13.8m·s⁻¹之间有21d,风速在17.2~20.7m·s⁻¹之间有14.4d,四月份最大风速为28m·s⁻¹。春季(3—5月)的干旱和大风(17.2~20.7m·s⁻¹)是该地区气候的典型特征。农业生产为雨养农业^[7-8]。

1.2 试验设计

玉米种植试验时间为2005—2008年。试验区生长季多年平均降水量为357.8mm,4个试验年生长季降水量分别为413.9、235、209.9mm和349mm。2005年生长季降水量高于多年平均值,为丰水年;2006年生长季降水量低于多年平均值,为枯水年,但降水分布规律与多年降水分布规律相一致;2007年生长季降水量远远低于多年平均值,为极枯水年,生长季降水不仅少,而且分布极不均匀;2008年生长季降水量接近多年平均值,为平水年。如图1所示。

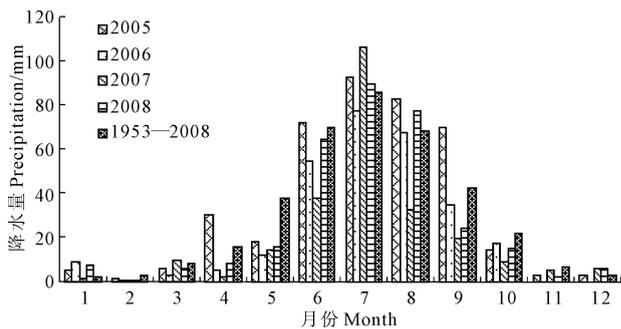


图1 1953—2008年月平均降水量及2005—2008年的月降水量

Fig. 1 Comparison of monthly precipitation in 2005, 2006, 2007 and 2008 with that monthly mean precipitation from 1953 to 2008

长岭县玉米的耕作方式为垄作垄台上播种,垄距为65cm,株距为40cm。试验小区面积为25m×

3.9m,玉米品种为郑单958。坐水种,用水量为40m³·hm⁻²,种肥为磷酸二铵(N-P-K,18-46-0),施肥量为6.5g·株⁻¹,大喇叭口期中耕施肥,尿素施用量为6.5g·株⁻¹,4次重复。每个试验小区的播种时间、播种方法、施肥及其它管理方式均相同,生长期无灌溉。

1.3 研究方法

1.3.1 作物生长需水量 作物生长所需的水量通常采用联合国粮农组织FAO推荐的Penman-Monteith模型计算。

首先,计算气候因素影响下的参考作物需水量(ET₀):

$$ET_0 = \frac{0.408\Delta(R_n - G) + \gamma \frac{900}{T + 273} U_2(e_s - e_a)}{\Delta + \gamma(1 + 0.34U_2)} \quad (1)$$

式中, R_n 为作物表面的净辐射量(MJ·m⁻²·d⁻¹); G 为土壤热通量(MJ·m⁻²·d⁻¹); T 为平均气温(℃); U_2 为离地面2m高处的风速(m·s⁻¹); e_s 为饱和水气压(kPa); e_a 为实测水气压(kPa); $e_s - e_a$ 为饱和水气压与实际水气压的差值(kPa); Δ 为饱和水气压与温度相关曲线的斜率(kPa·℃⁻¹); γ 为湿度计常数(kPa·℃⁻¹)^[9-12]。

然后,用作物系数 K_c 对 ET_0 进行调整,获得具体农作物生长需水量 ET_c :

$$ET_c = K_c ET_0 \quad (2)$$

1.3.2 作物生长需水量与有效降水量耦合度 作物生长需水量与有效降水量的耦合度,是指某段时间内有效降水量对作物生长需水量的满足程度,数值介于0~1之间^[13-14]。采用以下公式进行计算:

$$\lambda_i = \begin{cases} 1 & (ER_i \geq ET_{ci}) \\ ER_i/ET_{ci} & (ER_i < ET_{ci}) \end{cases} \quad (3)$$

式中, λ_i 表示第*i*阶段的作物生长需水与有效降水的耦合度; ER_i 代表第*i*阶段内有效降水量(mm); ET_{ci} 代表第*i*阶段内作物生长需水量(mm)。

1.3.3 土壤水消耗量 无灌溉情况下,作物生长所需的水分来源于两部分,一是有效降水,另一部分是除有效降水之外的土壤水。这些除有效降水之外的土壤水,可能是非生长季的有效降水形成的土壤水,也可能是地下水上升和大气中水汽的凝结形成的土壤水。

$$SW = CWR - ER \quad (4)$$

式中, CWR 为作物生长需水量(mm); ER 为有效降水量(mm); SW 为除有效降水之外的土壤水消耗量(mm)。

2 结果与分析

2.1 不同降水年型玉米生长季需水量变化

将 2005—2008 年研究区的气象数据输入联合

国粮农组织提供的 Cropwat 8.0, 并根据试验地的实际情况及区域的玉米系数^[15-17]对软件中的 K_c 值进行修正, 计算玉米生长季需水量。研究区玉米生长季日需水量变化如图 2 所示。

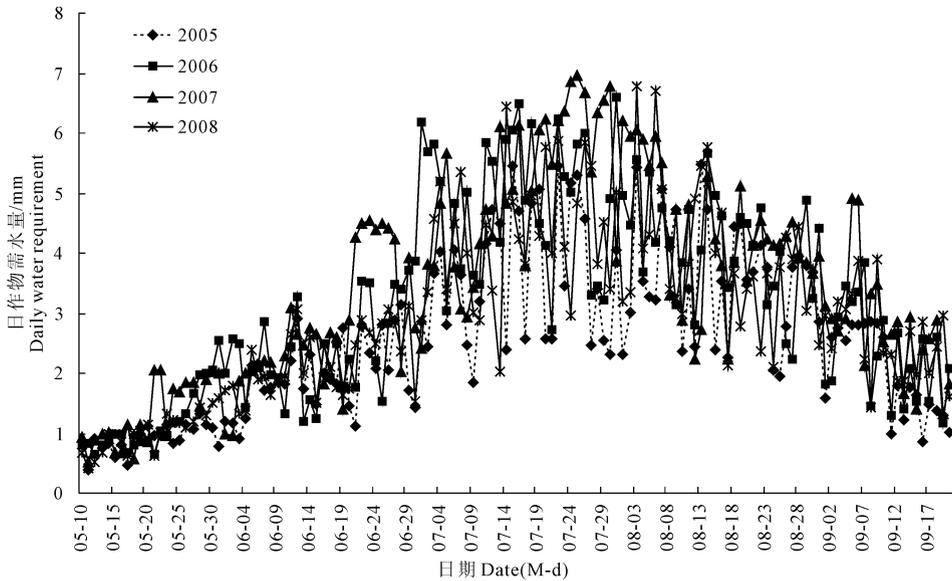


图 2 2005—2008 年玉米生长季日需水量

Fig.2 Daily water requirement in maize growing season from 2005 to 2008

在 4 个试验年份中, 玉米生长季需水均呈现先升后降的趋势, 为抛物线型。玉米生长初期, 植株矮小, 叶片也较少, 需水不多, 占总需水量 5.9% ~ 6.3%; 6 月以后, 气温升高, 随着植株体的不断壮大, 叶面积指数增大, 蒸腾量增加, 玉米的需水量也逐渐增加, 占总需水量 16.8% ~ 18.1%; 7 月正值营养生长和生殖生长都十分旺盛的时期, 加上夏季高温天气, 玉米对水分的需求达到了最高, 占总需水量的 33.1% ~ 36.1%; 到了 8 月, 叶片的光合能力达到最强, 也是需水高峰, 占总需水量的 29.4% ~ 32.2%; 9 月由于植株衰老, 蒸腾量减少, 需水量亦降低, 占总需水量 10.9% ~ 12.0%。

从整个生长季玉米需水量来看, 2007 年的需水量最大 (460.2 mm), 2006 年次之 (423.8 mm), 2008 年再次之 (393.5 mm), 2005 年最小 (342 mm)。4 年中, 5 月和 9 月玉米生长需水量差异不大, 所占的比重不超过 15%, 而 6—8 月则差异较大。其中, 2005 年为降水较充足年份, 6—8 月三个月的需水总量最低; 2006 年降水量稀少, 但降水分布规律与多年降水分布规律相一致, 6—8 月三个月的需水总量较高, 仅次于 2007 年; 2007 年遭遇干旱, 降水量分布不均, 6 月不仅降水量少, 而且气温高于 7、8 月, 6—8 月三个月的需水总量最高, 而且 6 月玉米生长需水量占整个生长季需水量的比重高于其它三个年份;

2008 年为降水正常年份, 6—8 月三个月的需水总量较 2005 年高, 而较 2006 年和 2007 年低。

从单位质量玉米生长需水量 (表 1) 来看, 2007 年最大, 为 $0.580 \text{ m}^3 \cdot \text{kg}^{-1}$, 2006 年次之, 为 $0.432 \text{ m}^3 \cdot \text{kg}^{-1}$, 2008 年再次之, 为 $0.346 \text{ m}^3 \cdot \text{kg}^{-1}$, 2005 年最小, 为 $0.243 \text{ m}^3 \cdot \text{kg}^{-1}$ 。

表 1 2005—2008 年单位质量玉米生长需水量/ $(\text{m}^3 \cdot \text{kg}^{-1})$

Table 1 Water requirement per unit dry weight in 2005, 2006, 2007 and 2008

年份 Year	5 月 May	6 月 June	7 月 July	8 月 August	9 月 September	合计 Total
2005	0.014	0.042	0.081	0.078	0.028	0.243
2006	0.025	0.072	0.151	0.139	0.045	0.432
2007	0.036	0.105	0.199	0.170	0.070	0.580
2008	0.021	0.058	0.125	0.105	0.038	0.346

玉米生长季需水量及单位质量玉米生长需水量, 均是越干旱的年份, 其需水量越大。

2.2 不同降水年型玉米生长季需水量与有效降水量的耦合度

将运用 CropWat 软件计算的玉米需水量和有效降水量带入公式 (3), 得到玉米生长季内需水量与有效降水量的耦合度 (如图 3), 不同降水年型下玉米不同生长阶段需水量与有效降水量耦合度不同。

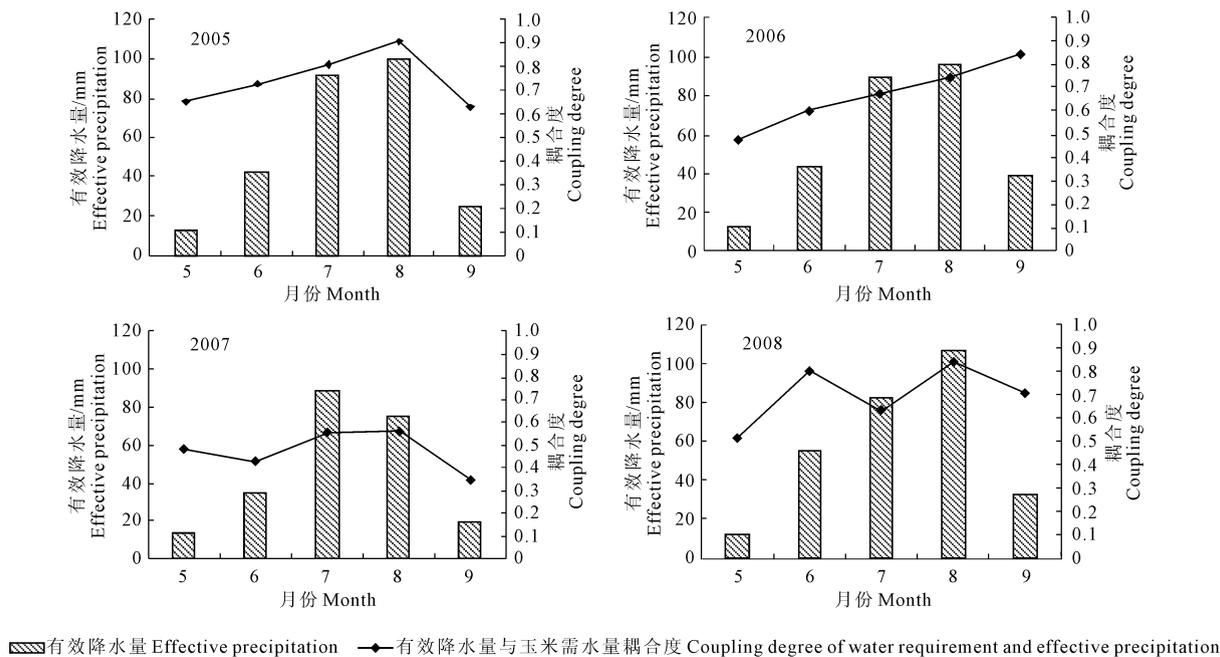


图 3 不同降水年型玉米生长季有效降水量与需水量的耦合度

Fig. 3 Coupling degree of water requirement and effective precipitation in different precipitation years

4 个年份中,有效降水量均呈现出由小到大,再由大到小的过程,其中 7 月和 8 月有效降水量最大,这主要由当地的气候条件决定的,同时越是干旱的年份有效降水量越小。2005 年降水丰富,玉米生长需水量和有效降水量耦合度最高,呈现先上升后下降的趋势,5—8 月为上升阶段,二者的耦合度依次为 0.65、0.73、0.81 和 0.91;9 月有所下降,数值为 0.63。2006 年降水稀少,玉米生长各个阶段需水量和有效降水量耦合度较 2007 年高,而较 2005 年和 2008 年低,呈现逐渐上升的趋势,5—9 月二者的耦合度依次为 0.48、0.60、0.67、0.75 和 0.84。2007 年降水极少,玉米生长各个阶段需水量和有效降水量耦合度最低,呈现不断波动变化的趋势,7 月和 8 月二者的耦合度相对较高,均为 0.56;5、6 月和 9 月二者的耦合度相对较低,分别为 0.48、0.42 和 0.34。2008 年降水适中,玉米生长各个阶段需水量和有效降水量耦合度仅次于 2005 年,大致呈马鞍形,6 月和 8 月二者的耦合度相对较高,分别为 0.81 和 0.84;5、7 月和 9 月二者的耦合度相对较低,分别为 0.52、0.64 和 0.71。

在灌溉区,当大气降水不能满足玉米生长需水时,用灌溉水来补充有效降水量的不足。但是长岭县玉米生长期无灌溉,当有效降水不能满足玉米生长需水时,需消耗除有效降水之外的土壤水,即当玉米需水量与有效降水量耦合度小于 1 时,则需消耗土壤水。耦合度越小,消耗的土壤水越多。

2.3 不同降水年型玉米生长消耗的土壤水量

玉米需水量减去有效降水量即可得到不同阶段玉米生长所消耗的土壤水量,结果见表 2。不同降水年型下玉米生长消耗的土壤水从高到低排列依次是:枯水年、平水年、丰水年。

2005 年(丰水年)5—9 月有效降水量均无结余,有效降水量不能满足玉米生长需水量,需要消耗适当的土壤水来加以补充,其中 9 月土壤水消耗量占该月玉米生长需水量的比重最大,为 36.9%,8 月最低,数值为 18.4%。2005 年土壤水消耗总量为 79.8 mm,占玉米生长需水量的 23.3%,其中 7 月土壤水消耗量最大,占整个土壤水消耗总量的 27.3%,其次是 8 月,占整个土壤水消耗总量的 25.4%。

2006 年(枯水年)有效降水量不能满足玉米生长需水量,玉米生长季内各阶段有效降水量均无结余,其中 5 月土壤水消耗量占该月玉米生长需水量的比重最大,为 52.4%,9 月最低,为 15.5%。2006 年土壤水消耗总量为 124.7 mm,占玉米生长需水量的 30.9%。其中 7 月土壤水消耗量最大,占整个土壤水消耗总量的 34.8%,其次是 8 月,占整个土壤水消耗总量的 26%。

2007 年(极枯水年)有效降水量远远不能满足玉米生长需水量,玉米生长季内各阶段有效降水量均无结余,玉米生长各个阶段消耗的土壤水都较多,其中 9 月土壤水消耗量占该月玉米生长需水量的比重最大,为 65.7%,8 月最低,为 43.8%。2007 年土

壤水消耗总量为 227.7 mm, 占玉米生长需水量的 49.5%, 其中 7 月土壤水消耗量最大, 占整个土壤水

消耗总量的 30.4%, 其次是 8 月, 占整个土壤水消耗总量的 26%。

表 2 不同降水年型玉米生长消耗的土壤水量

Table 2 Soil water consumption (SWC) in growth season of maize in different precipitation years

年份 Year	月份 Month	玉米需水量/mm Water demand of maize	土壤水消耗量/mm SWC	土壤水消耗量占玉米 生长需水量的比例/% Proportion of SWC in water demand	土壤水消耗量占土壤 水消耗总量的比例/% Proportion of SWC in the total SWC
2005	5	20.01	7.01	35.0	8.8
	6	58.87	16.07	27.3	20.2
	7	113.32	21.79	19.2	27.3
	8	110.15	20.31	18.4	25.4
	9	39.63	14.63	36.9	18.3
2006	5	25.72	13.48	52.4	10.8
	6	71.16	28.26	39.7	22.7
	7	152.81	43.38	32.7	34.8
	8	128.06	32.46	25.3	26.0
	9	46.02	7.15	15.5	5.7
2007	5	28.93	14.93	51.6	6.6
	6	83.10	47.80	57.5	21.0
	7	157.62	69.32	44.0	30.4
	8	135.08	59.22	43.8	26.0
	9	55.40	36.40	65.7	16.0
2008	5	23.55	11.39	48.4	10.9
	6	68.38	13.13	19.2	12.6
	7	129.09	46.81	36.3	44.7
	8	126.52	19.82	15.7	18.9
	9	45.96	13.47	29.3	12.9

2008 年(平水年)玉米生长季内各阶段有效降水量均无结余,有效降水量也不能满足玉米生长需水量,其中 5 月土壤水消耗量占该月玉米生长需水量的比重最大,为 48.4%,8 月最低,为 15.7%。2008 年土壤水消耗总量为 104.6 mm,占玉米生长需水量的 26.6%。其中 7 月土壤水消耗量最大,占整个土壤水消耗总量的 44.7%,其次是 8 月,占整个土壤水消耗总量的 18.9%。

3 结论与讨论

通过对长岭县不同降水年型玉米需水规律的探讨,既可掌握降水对玉米需水量的满足程度,又可分析玉米生产过程中的水分来源,进而为解决玉米水资源供需矛盾提供一定的依据。

1) 通过计算和分析玉米生长季日需水量,探讨玉米整个生长发育过程需水规律。玉米生长需水初期小,中期大,后期小,呈现出先增大后减小的趋势。不同降水年型玉米生长需水曲线有所差异,越是干

旱的年份玉米生长需水量和单位质量玉米生长需水量越大。

2) 在玉米生长过程中,有效降水量呈现“中间大、两头小”的规律,越是干旱的年份有效降水量越小。不同降水年型玉米生长各个阶段需水量和有效降水量耦合度差异明显,从高到低排列依次是:丰水年、平水年、枯水年、极枯水年。

3) 长岭县玉米生长需水除有效降水外,其余均来源于土壤水,极枯水年消耗的土壤水最多,越是干旱的年份土壤水在玉米生长需水中所占的比重越高。无论是丰水年、平水年,还是枯水年或极枯水年,7、8 月份土壤水消耗量都较大,若不适当地增加灌溉量,将使耕层土壤含水量逐渐降低,破坏土壤的水分平衡。本研究可为制定玉米灌溉制度提供参考。

4) 在今后的研究中,应开展玉米生产非充分灌溉试验,研究非充分灌溉模式条件下玉米生理活动规律和产量的变化,提出适合当地农业生产条件的

非充分灌溉节水灌溉制度,达到既稳产又节水的目的,进一步提高玉米的水分利用效率。

参考文献:

- [1] 张晶,封志明,杨艳昭.宁夏平原县域农业水土资源平衡研究[J].干旱区资源与环境,2007,21(2):60-65.
- [2] 张金萍,郭兵托,刘俊阁.基于水足迹的宁夏平原农作物生产用水分析[J].人民黄河,2011,33(5):36-37.
- [3] 李萍,魏晓妹.气候变化对灌区农业需水量的影响研究[J].水资源与水工程学报,2012,23(1):81-85.
- [4] 付晓刚,周亚红,毕攀,等.基于彭曼公式的作物灌溉需水量确定方法研究[J].人民黄河,2009,31(5):85-87.
- [5] 李取生,李晓军,李秀军.松嫩平原西部典型农田需水规律研究[J].地理科学,2004,24(1):109-114.
- [6] 耿艳辉,闵庆文,成升魁.西北地区种植业需水分析—以泾河流域为例[J].生态与农村环境学报,2006,22(4):30-34.
- [7] 秦丽杰,靳英华,段佩利.吉林省西部玉米生产水足迹研究[J].地理科学,2012,32(8):1020-1025.
- [8] 秦丽杰,靳英华,段佩利.不同播种时间对吉林省西部玉米绿水足迹的影响[J].生态学报,2012,32(23):7375-7382.

- [9] 柳文华,赵景柱,邓红兵,等.水—粮食贸易:虚拟水研究进展[J].中国人口资源与环境,2005,15(3):129-134.
- [10] 王红瑞,韩兆兴,韩鲁杰,等.虚拟水理论与方法的研究进展[J].中国水利水电科学研究学报,2008,6(1):66-72.
- [11] 孙占祥,冯良山,杜桂娟,等.玉米灌溉田土壤水分变化及其耗水规律研究[J].玉米科学,2010,1(18):99-102.
- [12] 柯冰,柳文华,段光明,等.虚拟水在解决农业生产和粮食安全问题中的作用研究[J].环境科学,2004,2(25):32-36.
- [13] 杨晓琳,宋振伟,王宏,等.黄淮海农作区冬小麦需水量时空变化特征及气候影响因素分析[J].中国生态农业学报,2012,20(3):356-362.
- [14] 张秋平,杨晓光,薛昌颖,等.北京地区旱稻作物需水与降水的耦合分析[J].农业工程学报,2007,23(10):51-56.
- [15] 王冬妮,马玉平,王石立,等.东北玉米生长模型中土壤水分参数的敏感性分析[J].中国农业气象,2010,31(2):219-224.
- [16] 刘志明,晏明,沈柏竹.吉林省中西部地区玉米水分盈亏计算与增产潜力的分析研究[J].农业系统科学与综合研究,1998,14(4):269-272.
- [17] 亢振军,尹光华,刘作新,等.辽西玉米需水规律及灌溉预报研究[J].中国科学院研究生院学报,2010,27(5):614-620.

(上接第221页)

本文以坝上地区的沽源县为例,分析了该地区30多年来土地利用变化及其重心迁移情况,结果表明:研究区土地利用结构构成和空间分布发生了较大变化;土地利用重心产生了较大迁移:农业用地重心向东北方迁移,迁移距离较大;林地重心向东南方向迁移;草地和建设用地重心向西北方迁移;水域重心向东南方迁移,迁移距离较小;未利用土地重心向西南方迁移,迁移距离较大。

自然因素、人为因素和政策因素对沽源县土地利用方式转变起到了推动作用,其中后两种因素起到了主导作用。

参考文献:

- [1] 刘林德,高玉葆.论中国北方农牧交错带的生态环境建设与系统功能整合[J].地球科学进展,2002,17(2):174-181.
- [2] 马玉峰,贾宝全,王文明.农牧交错区土地利用变化研究—以内蒙古伊金霍洛旗为例[J].干旱区研究,2007,24(3):159-167.
- [3] 王晓峰,任志远,黄青.农牧交错区县域土地利用变化及驱动力分析—以陕北神木县为例[J].干旱区地理,2003,26(4):402-407.
- [4] 邹亚荣,张增祥,周全斌,等.中国农牧交错区土地利用变化空

- 间格局与驱动力分析[J].自然资源学报,2003,18(2):222-227.
- [5] 杨晓晖,张克斌,慈龙骏.半干旱农牧交错区近20年来景观格局时空变化分析:以内蒙古伊金霍洛旗为例[J].北京林业大学学报,2005,27(5):81-86.
- [6] 陈文波,郑蕉,鄢帮有.鄱阳湖区土地利用景观格局特征研究[J].农业工程学报,2007,23(4):79-83.
- [7] Lioubimtseva E, Defourny P. GIS-based landscape classification and mapping of European Russia[J]. Landscape and Urban Planning, 1999,44(2):63-75.
- [8] 夏佰成,胡金明,宋新山.近15年来洮儿河流域土地利用变化研究[J].水土保持学报,2004,18(2):123-127.
- [9] 赵军,符海月.GIS在人口重心迁移研究中的应用[J].测绘工程,2001,10(3):41-43.
- [10] 张晓东,颀耀文,史建尧,等.石羊河流域土地利用与景观格局变化[J].兰州大学学报(自然科学版),2008,44(5):19-25.
- [11] 王秀兰,包玉海.土地利用动态变化研究方法探讨[J].地理科学进展,1999,18(1):81-87.
- [12] 王光谦,王思远,陈志祥.黄河流域的土地利用和土地覆盖变化[J].清华大学学报(自然科学版),2004,44(9):1218-1222.
- [13] 廉晓梅.我国人口重心、就业重心与经济重心空间演变轨迹分析[J].人口学刊,2007,3:23-28.
- [14] 王浩,王成明.黄河流域水循环变化研究[J].水科学进展,2003,14(增刊):1-9.