

黑龙港流域冬小麦产量与气象因子相关与通径分析

李月英¹, 刘全喜², 张文英³, 柳斌辉³, 李 新¹, 谢莉莉¹, 马敬民⁴, 李爱国³, 栗雨勤³

(1. 衡水市气象局, 河北 衡水 053000; 2. 衡水市桃城区农业局, 河北 衡水 053000;
3. 河北省农林科学院 旱作农业研究所, 河北 衡水 053000; 4. 衡水职业技术学院, 河北 衡水 053000)

摘要:研究表明, 气象因子与小麦产量密切相关。在与小麦产量相关的 35 个气象因子中有 12 个因子的相关系数达到了显著水平; 其中灌浆期降水与冬小麦产量呈极显著相关, 且直接通径系数最高, 对小麦产量形成的贡献率最大; 其次是拔节期降水量和返青期降水量; 5 月份的蒸发量与冬小麦产量密切相关, 达到极显著水平, 其对小麦产量形成起较大的负向作用; 小麦越冬期间的气温也是不可忽视的气象因素。据此, 在制定小麦生产管理计划时, 应将以上因素作为考虑的重点。

关键词: 冬小麦产量; 气象因素; 相关分析; 通径分析

中图分类号: S512.1 文献标识码: A 文章编号: 1000- 7091(2008) 增刊- 0329- 05

Correlation and Path Analysis between Winter Wheat Yield and Meteorological Factors in Heilonggang Region

LI Yue-ying¹, LIU Quan-xi², ZHANG Wen-ying³, LIU Bin-hui³,
LI Xin¹, XIE Li-li¹, MA Jing-min⁴, LI Ai-guo³, LI Yi-tan³

(1. Hengshui Meteorological Bureau, Hengshui 053000, China; 2. Agricultural Bureau of Taocheng District, Hengshui 053000, China; 3. Dryland Farming Institute, Hebei Academy of Agricultural and Forestry Sciences, Hengshui 053000, China;
4. Hengshui Vocational and Technical College, Hengshui 053000, China)

Abstract: It was indicated that winter wheat yield was closely related to meteorological factors. Among the 35 meteorological factors related to wheat yield, the correlative coefficients of 12 factors with yield were significant. The precipitation during milking stage, which was significantly correlated(at $\alpha_{0.01}$ level) with winter wheat yield, had the highest path coefficient, and contributed the most to wheat yield establishment. The second and third factors were the precipitations in jointing and stem elongating stage. Closely related to winter wheat yield, the evaporation in May were significantly correlated with the yield at $\alpha_{0.01}$ level, showing significant negative effect on wheat yield establishment. Additionally, the soil temperature in the winter was also a very important meteorological factor affecting winter wheat yield. Therefore, the above mentioned factors should be emphasized when making wheat production and management plan.

Key words: Winter wheat yield; Meteorological factor; Correlation analysis; Path analysis

冬小麦从秋分播种到翌年芒种收割, 整个生育期历经秋、冬、春、夏四季, 无时无刻不在接受着大气中风霜雨雪等气象因素的作用与影响^[1], 在其他影响因素一定的情况下, 其气象条件不同, 小麦产量会有很大的差异, 即天气气候条件的变化将导致冬小麦产量的波动^[2,3]。

阳光是绿色植物进行光合作用制造有机物质的唯一能量来源, 光照强度、光照持续时间、光谱成分对作物的生长发育、产品质量有重要影响。热量和水分是小麦有机体全部生命过程正常进行的重要保证^[4]。不利的光热水条件及其他气象条件对小麦产量影响重大^[5]。许多专家学者对此进行了大量研

收稿日期: 2008- 07- 15

基金项目: 国家科技支撑计划(2007BAD69B01); 河北省科技支撑计划(06220114D- 1); 河北省财政专项(TRS- 15- 2.3.3)

作者简介: 李月英(1967-), 女, 河北衡水人, 工程师, 主要从事气象服务、应用气象研究。

通讯作者: 栗雨勤(1951-), 男, 河北武邑人, 研究员, 主要从事作物抗旱遗传育种研究。

究^[6-14],其中不乏把小麦产量分解成趋势产量与气候产量等若干部分,再将气候产量提取出来,专门分析气候产量与气象因子的各种关系^[12-14],这也从另一个角度说明了气象因素对小麦产量的形成作用重大。

黑龙港流域大体包括衡水和邢台市全部、邯郸12县、沧州8县(市),共50个县(市、区),占河北省县(市、区)的三分之一左右,同时也是国家重要的冬小麦种植区。因此,讨论研究黑龙港流域冬小麦产量与诸多气象因子间的关系有着非常重要的意义。

1 材料和方法

1.1 材料

衡水市1976-2006年冬小麦平均产量与气象数据,资料分别来源于衡水市统计局和气象局。

1.2 方法

1.2.1 气象因子设计 选取了35个气象因子,分别为:10月降水量、11月降水量、12月降水量、次年1月降水量、次年2月降水量、次年3月降水量、次年4月降水量、次年5月降水量、次年6月1-5日降水量、10月至次年6月5日降水量、次年6月降水量、10月至次年6月降水量、底墒、播种期降水量、返青期水量、拔节期降水量、抽穗扬花期降水量、灌浆期降水量、12月平均气温、次年1月平均气温、次年2月平均气温、12月极端最低气温、次年1月极端最低气温、次年2月极端最低气温、12月平均地温、次年1月平均地温、次年2月平均地温、12月极端最低地温、次年1月极端最低地温、次年2月极端最低地温、灌浆期干热风指数、灌浆期日照时数、3月蒸发量、4月蒸发量、5月蒸发量。

河北省衡水市地处黑龙港流域中心,可以代表黑龙港流域小麦生态特征。该市下辖11个县(市区),考虑到气象数据的代表性,选取了衡水市不同地理方位的桃城区、阜城县、故城县和安平县四个县(市区),每一个气象数据为这四个县(市区)的平均数值。资料来源为衡水市桃城区、阜城县、故城县和安平县气象局。

1.2.2 冬小麦生长发育关键期设计 冬小麦生长发育关键期起止日期:9月25日-10月15日为播种期,2月20日-3月10日为返青期,3月20日-4月20日为拔节期,4月25日-5月5日为抽穗扬花期,5月10-25日为灌浆期;底墒为9月1-25日的降水量;灌浆期干热风指数计算方法:设定轻度干热风权重为1,中度干热风权重为2,重度干热风权重为3,这样在灌浆期5月10-25日共16d内,某年

干热风指数=该年出现轻干热风天数×1+该年出现中干热风天数×2+该年出现重干热风天数×3。

1.2.3 数据处理 相关分析、通径分析,均采用DPS数据处理系统^[15]。

2 结果与分析

2.1 冬小麦产量与各气象因子的相关分析

在方差分析的基础上,对冬小麦产量与气象因子进行了相关分析。结果表明,在35个气象因子中,有12个气象因子与冬小麦产量关系密切,达到了显著相关或极显著水平(表1)。

表1 冬小麦产量与气象因子相关情况

Tab.1 Relation of winter wheat yield and meteorological factors

因子序号 Factor serial number	气象因子 Meteorological factors	相关系数 Corre-cting coefficient	密切程度* Correlat-ive degre-e
X1	10月降水量	0.172	
X2	11月降水量	0.259	
X3	12月降水量	-0.173	
X4	次年1月降水量	0.090	
X5	次年2月降水量	-0.026	
X6	次年3月降水量	0.120	
X7	次年4月降水量	0.102	
X8	次年5月降水量	0.295	
X9	次年6月1至5日降水量	-0.141	
X10	10月至次年6月5日降水量	0.277	
X11	次年6月降水量	-0.101	
X12	10月至次年6月降水量	0.171	
X13	底墒	0.262	
X14	播种期降水量	0.198	
X15	返青期降水量	0.494	**
X16	拔节期降水量	0.578	**
X17	抽穗扬花期降水量	0.123	
X18	灌浆期降水量	0.572	**
X19	12月平均气温	0.282	
X20	1月平均气温	0.415	*
X21	2月平均气温	0.482	**
X22	12月极端最低气温	0.387	*
X23	1月极端最低气温	0.407	*
X24	2月极端最低气温	0.492	**
X25	12月平均地温	0.249	
X26	1月平均地温	0.456	**
X27	2月平均地温	0.447	*
X28	12月极端最低地温	0.237	
X29	1月极端最低地温	0.300	
X30	2月极端最低地温	0.486	**
X31	灌浆期干热风指数	-0.2946	
X32	灌浆期日照时数	-0.2956	
X33	3月蒸发量	-0.155	
X34	4月蒸发量	-0.354	
X35	5月蒸发量	-0.587	**

注:*.相关系数临界值,a=0.05时,r=0.3550;a=0.01时,r=0.4556。

Note:*.Critical concentration of correcting coefficient;a=0.05,r=0.3550;a=0.01,r=0.4556。

从表1可以看出:返青期降水量、拔节期降水量、灌浆期降水量、1月平均气温、2月平均气温、12月极端最低气温、1月极端最低气温、2月极端最低

气温、1 月平均地温、2 月平均地温、2 月极端最低地温这 11 个气象因子与冬小麦产量呈显著正相关, 其中返青期降水量、拔节期降水量、灌浆期降水量、2 月平均气温、2 月极端最低气温、1 月平均地温、2 月极端最低地温这 7 个气象因子与冬小麦产量呈极显著正相关; 5 月蒸发量与冬小麦产量关系密切, 达极显著水平。

各气象因子与冬小麦产量的相关程度依次为: 5 月蒸发量> 拔节期降水量> 灌浆期降水量> 返青期降水量> 2 月极端最低气温> 2 月极端最低地温> 2 月平均气温> 1 月平均地温> 2 月平均地温> 1 月平均气温> 1 月极端最低气温> 12 月极端最低气温。

由以上分析可知: 返青期降水量、拔节期降水量、灌浆期降水量、2 月平均气温、2 月极端最低气温、1 月平均地温、2 月极端最低地温以及 5 月蒸发量这 8 个气象因子对冬小麦产量具有极为重要的作用。

2.1.1 冬小麦产量与降水量气象因子的相关分析

表 1 表明, 小麦产量与各生长阶段、各关键生育期降水量均有不同程度的相关性。其中拔节期降水量(X16, 0.578)、灌浆期降水量(X18, 0.572)、返青期降水量(X15, 0.494)与小麦产量之间的关系较为密切, 均达到了极显著水平; 其次是 5 月降水量(X8, 0.295)、10 月至 6 月 5 日降水量(X10, 0.277)、底墒水(X13, 0.262)、11 月降水量(X2, 0.259)和播种期降水量(X14, 0.198)。上述气象因子与小麦产量虽未达到显著相关, 但均表现出不同程度的正相关。6 月 1-5 日降水量与小麦产量的相关系数是-0.141, 表现出了弱负相关。一般讲, 6 月 1-5 日已接近小麦成熟、收割期, 如果降水会造成小麦雨后高温逼熟、倒伏, 导致籽粒重量降低或发霉, 甚至穗发芽, 因而降低产量。

2.1.2 冬小麦产量与温度气象因子的相关分析

表 1 表明, 温度气象因子与小麦产量密切相关。其中, 2 月极端最低气温(X24, 0.492)、2 月极端最低地温(X30, 0.486)、2 月平均气温(X21, 0.482)、1 月平均地温(X26, 0.456)与小麦产量之间的关系最为密切, 均达到了极显著水平; 其次是 2 月平均地温(X27, 0.447)、1 月平均气温(X20, 0.415)、1 月极端最低气温(X23, 0.407)和 12 月极端最低气温(X22, 0.387)与小麦产量之间的关系较为密切, 均达到了显著水平; 1 月极端最低地温、12 月平均气温、12 月平均地温、12 月极端最低地温与小麦产量的相关系数分别是 0.300, 0.282, 0.249, 0.237, 虽然没有达到

显著水平, 但均表现出了不同程度的正相关。

2.1.3 冬小麦产量与不同生育时期蒸发量气象因子的相关分析 小麦生长期间的蒸发量与小麦产量密切相关。表 1 表明, 5 月蒸发量(X35, -0.587)与冬小麦产量关系最为密切, 达到了极显著水平; 其次是 4 月蒸发量(X34)与小麦产量的相关系数为-0.354, 虽未达到显著水平, 但已接近显著水平; 3 月蒸发量(X33)与小麦产量的关系密切程度较小, 但也表现出了一定程度的负相关, 相关系数为-0.155。

2.2 冬小麦产量与各气象因子间的通径分析

上述相关分析结果, 仅能表明小麦产量与各气象因子间的相关程度。如若探讨各气象因子对小麦产量作用的大小, 还必须进行通径分析才能分清各气象因素对小麦产量所起的真正作用。通径系数可以把一对性状的相关系数根据其成因分解成为若干组成部分, 以便更清楚地了解各性状对这一性状的相关发生的影响程度^[16]。

我们利用 DPS 数据处理系统(Data Processing System), 剔除了原始数据不显著的性状作逐步回归, 得到各气象因子对冬小麦产量的直接效应和间接效应(表 2)。

2.2.1 降水量气象因子对小麦产量的效应 表 2 表明, 降水量气象因子中, 灌浆期降水量(X18)、拔节降水量(X16)、返青期降水量(X15)、10 月至次年 6 月降水量(X12)和 6 月 1-5 日降水量(X9)对冬小麦产量的直接通径系数分别为 0.675, 0.522, 0.510, 0.499 和-0.198。上述分析结果说明灌浆期降水量(X18)、拔节降水量(X16)、返青期降水量(X15)和 10 月至次年 6 月降水量(X12)对冬小麦产量起正向作用, 有利于小麦产量的提高; 而 6 月 1-5 日降水量(X9)起负向作用, 致使小麦减产。

2.2.2 温度气象因子对小麦产量的效应 分析结果表明, 2 月平均气温(X21)、1 月极端最低气温(X23)、12 月平均地温(X25)、1 月平均地温(X26)、2 月平均地温(X27)对冬小麦产量的直接通径系数分别为-0.210, -0.351, -0.176, -0.191 和-0.251。上述分析结果说明小麦越冬期间的较低的温度(包括平均气温、极端最低气温、平均地温、极端最低地温)对冬小麦产量起负向作用, 抑制小麦产量的提高。

2.2.3 蒸发量气象因子对小麦产量的效应 表 2 表明, 4 月蒸发量(X34)、5 月蒸发量(X35)对冬小麦产量的直接通径系数分别为-0.386, -0.404。这说明小麦生长中后期间的蒸发气象因子(包括 3-5

月的蒸发量)对冬小麦产量起负向作用,水分不断蒸发,加剧了干旱胁迫的程度,导致小麦减产。

表2 各气象因子对冬小麦产量的直接效应和间接效应

Tab.2 Direct effects and indirect effects of meteorological factors on winter wheat yield													
因子 Factors	直接 效应 Direct effects	间接效应 Indirect effects											
		→ X9	→ X12	→ X15	→ X16	→ X18	→ X21	→ X23	→ X25	→ X26	→ X27	→ X34	→ X35
X9	- 0.198		0.067	- 0.115	0.098	0.225	0.186	0.078	0.030	- 0.090	- 0.099	- 0.056	- 0.262
X12	0.499	- 0.044		- 0.056	0.022	0.031	- 0.159	- 0.108	0.005	0.063	0.092	- 0.112	- 0.230
X15	0.510	- 0.108	0.079		0.043	0.080	0.335	0.066	0.049	- 0.075	- 0.142	0.011	- 0.116
X16	0.522	- 0.107	0.036	- 0.050		0.139	0.078	- 0.104	- 0.003	- 0.013	- 0.077	- 0.129	- 0.172
X18	0.675	- 0.119	0.025	- 0.045	0.067		0.058	0.195	0.043	- 0.112	0.003	- 0.213	- 0.294
X21	- 0.210	- 0.045	- 0.059	- 0.087	0.018	0.027		0.135	0.034	- 0.121	- 0.401	0.029	0.048
X23	- 0.351	- 0.028	- 0.059	- 0.025	- 0.034	0.133	0.199		0.106	- 0.287	- 0.065	- 0.047	0.048
X25	- 0.176	- 0.034	0.008	- 0.059	- 0.003	0.092	0.154	0.330		- 0.233	- 0.061	- 0.125	0.209
X26	- 0.191	- 0.046	- 0.048	- 0.040	0.006	0.107	0.250	0.404	0.105		- 0.102	- 0.019	0.221
X27	- 0.251	- 0.044	- 0.061	- 0.066	0.031	- 0.002	0.721	0.079	0.024	- 0.088		0.054	0.040
X34	- 0.386	0.023	- 0.069	- 0.005	- 0.048	- 0.165	0.048	- 0.054	- 0.045	0.015	- 0.050		- 0.292
X35	- 0.404	0.086	- 0.114	0.041	- 0.052	- 0.183	- 0.064	- 0.044	- 0.061	0.143	0.030	0.235	

3 结论与讨论

返青期、拔节期和灌浆期都是冬小麦的关键生长发育时期,水分需求非常旺盛,在干旱少雨的黑龙港流域,降水量越大对小麦的生长发育越有利。12月以及次年的1月、2月是小麦的越冬期,其间的温度高,有利于小麦安全越冬。5月是小麦生长的中后期,正值小麦灌浆期,如果期间蒸发量过大,加之温度高、风速大,极易造成小麦植株枯熟籽粒秕瘦。

黑龙港地区灌浆期降水与冬小麦产量呈极显著相关,且对产量的直接通径系数最高,表明其对小麦产量的贡献率最大;其次是拔节期降水量和返青期降水量与冬小麦产量密切相关,且直接通径系数较高,表明其对小麦产量的贡献率较大;再次是,2月平均气温、1月平均地温、1月极端最低气温、2月平均地温与冬小麦产量关系密切,分别达到了极显著和显著水平,加之直接通径系数值大,表明小麦越冬期间的温度也是不可忽视的因素;第四,5月份蒸发量和4月份蒸发量与冬小麦产量密切相关,分别达到了极显著水平和接近显著水平,其与小麦产量的负向通径系数值分别第一位和第二位。表明4-5月份水分蒸发量过大,小麦自身水分供需失调,致使小麦籽粒瘪空而减产。

在与小麦产量相关的35个性状中,6月1-5日降水量、10月至次年6月降水量、返青期降水量、拔节期降水量、灌浆期降水量、2月平均气温、1月极端最低气温、12月平均地温、1月平均地温、2月平均地温、4月蒸发量、5月蒸发量等12个性状与冬小麦产量密切相关。在研究制定冬小麦生产管理计划时,应作为优先考虑的重点。

上述结果与邱新法^[17],张力^[18],魏瑞江^[19],郝立生^[13]和史国安^[9]等在降水对产量的影响最大、降

水是冬小麦产量形成的限制因素、降水与产量有较好的对应关系、越冬期间的温度条件对产量形成有较大影响方面取得了一致结论。结论不同之处表现在:其一,与邱新法等^[17]的关于干热风的研究比较,本研究中灌浆期干热风指数与小麦产量关系为负相关,但没有达到显著水平。如果采用不同的灌浆期干热风指标计算方法,可能会得到不同的结论;其二,与史国安等^[9]的关于总降水量与小麦产量关系的研究比较,由于衡水干旱少雨,小麦生长期间的自然降水远远不能满足其生理需水要求,需要灌溉来保障,因此,在本研究中小麦全生育期间的降水量与其产量关系未达到密切程度;其三,与史国安等^[9]的关于底墒、生育期降水对小麦产量的贡献的研究比较,本研究中的底墒、各生育期降水量只是小麦实际供水的一部分,而史国安等^[9]的试验研究中的底墒、生育期降水量是小麦实际供水的全部。这些可能是导致二者结论不同的原因;其四,与魏瑞江等^[19]、郝立生等^[13]的关于“降水量对冬小麦的适宜程度是由不适宜到适宜再到不适宜的连续过程、降水太多或太少都不利于小麦增产”的研究比较,本研究中的以衡水为代表的黑龙港流域,自然降水远远满足不了小麦需求,因而不会出现降水太多影响小麦产量的情况。

另外,本研究如果提取衡水每年的气候产量代替实际产量进行与气象因子的相关通径分析,可能会得到更贴近小麦生长规律的结论。

鉴于黑龙港流域水资源匮乏,应通过开源与节流两种途径:有关部门适时、及时实施人工影响天气增加降水,大力选用抗旱节水品种,对于提高产量、减少水资源消耗、缓解干旱缺水与增产的矛盾,实现节水、高产、高效农业可持续发展,具有重要的战略意义和现实意义^[20-26]。同时还应注意到,气象条

件仅仅是影响小麦产量的一部分自然因素^[27, 28], 在产量的形成因素中还包括客观存在的社会、环境、技术因素, 如: 土壤、肥力、地形、病虫害、耕作条件、政策导向等, 在制定小麦规划时应综合考虑、合理配置各种资源, 以期获得最好的经济效益。

参考文献:

[1] 袁永慧, 邓西平. 干旱与复水对小麦生长和产量的影响 [J]. 华北农学报, 2004, 19(1): 85- 88.

[2] 崔读昌, 刘洪顺, 闵谨如, 等. 中国主要农作物气候资源图集[M]. 北京: 气象出版社, 1984.

[3] 李世奎. 中国农业气候资源和农业气候区划[M]. 北京: 科学出版社, 1988.

[4] 方文松, 陈怀亮, 刘荣花, 等. 河南雨养农业区土壤水分与气候变化的关系[J]. 中国农业气象, 2007(3): 12- 15.

[5] 冯秀藻. 农业气象学原理[M]. 北京: 气象出版社, 1991.

[6] 龚绍先. 粮食作物与气象[M]. 北京: 北京农业大学出版社, 1990: 19- 87.

[7] 李元华, 车少静. 河北省温度和降水变化对农业的影响 [J]. 中国农业气象, 2005, 26(4): 224- 228.

[8] 王建恒, 王荣英, 李 新, 等. 黑龙江地区主要农作物对气候变暖的响应分析[J]. 中国农业气象, 2007, 28(增): 15- 17.

[9] 史国安, 魏良友, 陈明灿, 等. 模拟不同降水类型旱地冬小麦产量性状的通径分析[J]. 干旱地区农业研究, 2000, 18(3): 64- 69.

[10] 杨金虎. 春小麦产量与降水气温关系的分析[J]. 甘肃农业, 2000(5): 33- 34.

[11] 杜 军, 张 勇, 索朗欧珠. 西藏冬小麦需水关键期的降水变化趋势分析[J]. 中国农业气象, 2004, 25(2): 47- 50.

[12] 郝立生. 衡水气候环境对小麦产量的影响[J]. 中国农业气象, 2007, 28(增): 29- 32.

[13] 郝立生, 吴 雁. 海河低平原气候环境对小麦产量的影响[J]. 气象与减灾研究, 2007, 30(4): 20- 24.

[14] 王位泰. 干旱与冬小麦和玉米产量关系的分析[J]. 中国农业气象, 2002, 23(3): 27- 30.

[15] 唐启义, 冯明光. 实用统计分析及其 DPS 数据处理系统[M]. 北京: 科学出版社, 2002.

[16] 何代元, 吴广成. 玉米杂交种主要农艺性状的相关和通径分析[J]. 杂粮作物, 2003, 23(2): 63- 66.

[17] 邱新法, 曾 燕. 影响我国冬小麦产量的气象要素研究[J]. 中国农业气象, 2001, 22(4): 11- 14.

[18] 张 力, 张宝华. 冬小麦气象产量分析[J]. 中国农业气象, 2004, 25(1): 22- 24.

[19] 魏瑞江, 张文宗, 李二杰. 河北省冬小麦生育期气象条件定量评价模型[J]. 中国农业气象, 2007, 28(4): 367- 370.

[20] 栗雨勤, 张文英. 抗旱高产型冬小麦新品种科麦一号的选育[J]. 华北农学报, 2004, 19(1): 298- 301.

[21] 慕美财, 张日秋, 李兴佐, 等. 冬小麦高产栽培新途径的研究[J]. 华北农学报, 2008, 23(增刊): 167- 172.

[22] 王振华, 孙宏勇, 张喜英, 等. 不同冬小麦品种光合作用对环境因子响应的初步研究[J]. 华北农学报, 2007, 22(1): 9- 12.

[23] 李素娟, 李子林, 陈 阜, 等. 保护性耕作对华北平原冬小麦水分利用的影响[J]. 华北农学报, 2007, 22(增刊): 115- 120.

[24] 任三学, 赵花荣, 姜朝阳, 等. 不同灌水次数对冬小麦产量构成因素及水分利用效率的影响[J]. 华北农学报, 2007, 22(增刊): 169- 174.

[25] 吕丽华, 胡玉昆, 李雁鸣. 水分胁迫下不同抗旱性冬小麦脯氨酸积累动态[J]. 华北农学报, 2006, 21(2): 75- 78.

[26] 雷振生, 吴政卿, 田云峰, 等. 生态环境变异对优质强筋小麦品质性状的影响[J]. 华北农学报, 2005, 20(3): 1- 4.

[27] 张继祥, 刘克长, 任宗兴, 等. 农林间作系统中作物光合速率与生态生理因素关联分析[J]. 中国农业气象, 2002, 23(4): 38- 41.

[28] 郝志新, 郑景云, 陶向新, 等. 辽宁省冬小麦种植北界研究[J]. 中国农业气象, 2002, 23(4): 5- 8.