

# 气候变化对小麦生产的影响与对策

陈立春, 郭磊, 宋波, 李永华 (山东省莱阳市气象局, 山东莱阳 265200)

**摘要** 利用莱阳市1952~2007年冬小麦生育期内的气象资料, 对该期的气候变化特点以及气候变化对小麦生产的影响进行研究。分析了气象要素变化对莱阳市小麦产量的影响, 提出了调整播种期等农业气象建议和措施, 为莱阳小麦生产适应气候变化提供依据。结果表明, 在小麦生育期间, 气温上升, 降水量以每10年2.56 mm的幅度下降, 日照时数以每10年21.02 h的速率减少; 气候变暖使小麦播种期推迟, 全生育期缩短, 干旱程度加重, 气候产量下降, 气候变化不利于小麦生长。

**关键词** 气候变化; 小麦生产; 影响; 对策

**中图分类号** S512.1 **文献标识码** A **文章编号** 0517-6611(2009)32-15779-04

## Effects of Climate Change on Wheat Production and Countermeasures

CHEN Li-chun et al (Laiyang Meteorological Bureau of Shandong Province, Laiyang, Shandong 265200)

**Abstract** Using meteorological data of Laiyang during winter wheat growth stage from 1952 to 2007, the characteristics of climatic change and the impact on wheat production were studied. The influence of meteorological factors change on the yield of wheat in Laiyang were analyzed, and the agro-meteorological suggestions and countermeasures, such as the adjustment of sowing period were proposed which could provide references for wheat production of Laiyang to adapt to climate change. The results showed that the temperature is rising during the growth period of winter wheat, and precipitation is dropping at a rate of 2.56 mm per 10 years, sunshine hours is decreasing at a rate of 21.02 hours per 10 years. The climate warming put off the seeding date, shorten the growth season, increased drought degree, and the climatic yields were declined. Climate change was not conducive to wheat growth.

**Key words** Climate change; Wheat production; Impact; Countermeasures

近几十年来, 由于人类活动的加剧, 温室气体排放的增多, 引起了全球气候剧烈变化, 导致自然环境不断改变, 对农业及生态环境产生了巨大影响, 威胁着动植物的生存和粮食安全, 使气候变化成为了全社会关注的焦点<sup>[1-5]</sup>。据有关资料, 山东省50多年来的气候变化主要表现为升温趋势明显、降水量明显减少、日照减少、气象灾害发生频率和强度明显上升、海水盐度升高、海平面上升、春旱加重、作物病虫害增多, 气候变暖导致土壤和有机质的微生物分解加快、地力下降、土壤沙化、植被组成结构及生物量格局发生变化、生物多样性减少、海洋生物资源量下降、地下水位降低、水资源减少等。研究表明, 各个小区域气候变化并不都相同, 而且存在明显的地区性差异<sup>[6]</sup>, 如山东莱阳地区的气候变化与山东省的其他地区有较大差异, 对农业生产造成了非常明显的影响。笔者以山东半岛中心区域莱阳市为例, 分析冬小麦生产对气候变化的响应, 以期了解当地小麦生长的气候关键期、气候变化对冬小麦生产的影响程度、为指导农业生产和开展气象提供依据。

## 1 资料与方法

选用山东莱阳市1951~2008年的平均气温、降水量、日照时数资料(该资料符合《地面气象观测规范》的要求), 1980~2008年小麦生育期、全生育期长度资料(该资料为莱阳国家农气基本站观测的冬小麦资料, 符合《农业气象观测规范》的要求, 观测地段在耕作制度、土壤肥力、品种、气候条件等与大田保持一致), 1952~2007年莱阳小麦平均产量资料(莱阳市统计局提供), 1980~2008年小麦生育期干旱资料(莱阳国家农气基本站调查所得)。

气候线性趋势项系数由最小二乘法求得; 对小麦产量采用幂函数正交多项式拟合趋势方程的方法<sup>[7]</sup>, 分离出趋势产量( $Y_t$ )和气候产量( $Y_w$ ); 用积分回归分析求得小麦生长期内各月的气温、降水、日照与小麦气候产量的回归系数, 从而了解每个气象因素对小麦产量的影响程度<sup>[8]</sup>; 用小麦生长期内各月的气温、降水、日照与小麦气候产量的相关关系, 了解各气象因素与气候产量的密切程度; 用偏相关系数在去除其他气象因素影响后得到某一气象因素与气候产量的相关关系。

## 2 气候变化分析

**2.1 气温** 统计得到1952~2007年小麦生育期(前一年10月份~当年5月份)平均气温(图1), 由图1可见, 56年来莱阳市小麦生育期气温变化具有一定的波动性、上升性, 但自20世纪80年代后期起, 上升更为明显。对56年来的平均气温进行拟合, 得到拟合方程为  $Y = -63.470 + 0.035X$ ,  $r = 0.662$ , 相关检验知  $\alpha = 0.001$ , 达到极显著水平。从趋势线也可看出, 气温呈上升趋势。

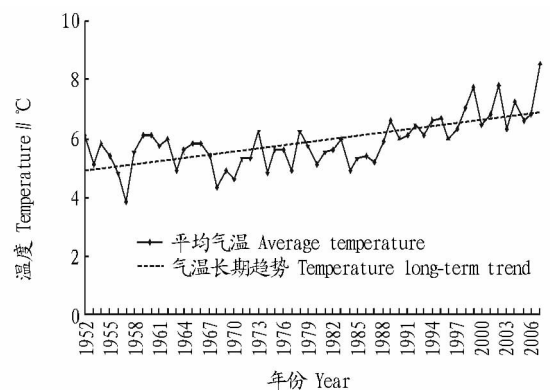


图1 1952~2007年小麦生育期平均气温变化趋势

Fig. 1 Variation trend of average temperature in wheat growth period from 1952 to 2007

小麦生育期各月气温倾向如表1所示, 由表1可知, 小麦生育期内, 各月气温的气候倾向率均大于 $0^{\circ}\text{C}$ , 气温呈上

**基金项目** 山东省莱阳市科技局和山东省烟台市气象局“莱阳市气候变化及影响”课题共同资助。

**作者简介** 陈立春(1963-), 男, 山东莱阳人, 工程师, 从事农业气象研究。

**收稿日期** 2009-07-14

升趋势,各月增幅不同,其中1~3月份增幅最大,每10年增加为0.434~0.523℃。11月和5月增幅最小,为每10年增长0.226℃。

表1 小麦生长期内各月气象要素10年变化倾向率

Table 1 Inclination rate of each month-factors change every the yeays in wheat growth period

月份 Month	气温//℃ Temperature	降水//mm Precipitation	日照//h Sunshine
10月	0.326	-1.901	-5.882
11月	0.226	-3.110	-1.390
12月	0.243	-0.215	-3.180
翌年1月	0.434	-0.248	-4.428
翌年2月	0.523	-0.245	0.668
翌年3月	0.456	0.296	-1.068
翌年4月	0.384	-1.367	-0.985
翌年5月	0.226	3.552	-3.618

2.2 降水 由1952~2007年小麦生育期内(10~翌年5月)总降水量(图2)可以看出,总降水量的年际变化具有明显的波动性,最小降水量只有92.3mm,最多降水量为308.6mm,最多年为最少年的3倍以上,取 $\alpha=0.05$ 的 $F_{\alpha}$ 值,对方差分析结果进行检验,结果无任何周期存在,对56年总降水量进行拟合,得到拟合方程为 $Y=690.28-0.256x$ ,从降水趋势线(图2)可以看出,小麦生育期总降水量呈减少的趋势,从小麦生长期内各月降水量的气候倾向率(表1)可以看出,除了3、5月为增多趋势,其他月份都为下降趋势,5月份上升率最大,为每10年3.552mm,3月份上升率为每10年0.296mm,11月份下降率最大,为每10年3.110mm。

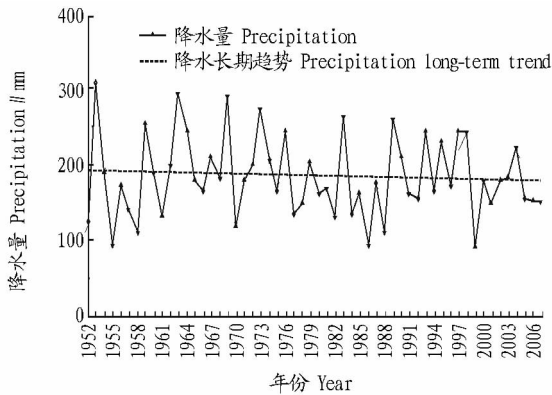


图2 1952~2007年小麦生育期总降水量变化趋势

Fig. 2 Variation trend of total precipitation in wheat growth period from 1952 to 2007

2.3 日照时数 小麦生育期总日照时数如图3所示。由图3可知,56年来日照时数为减少趋势,对56年总日照时数进行拟合,得到拟合方程为 $Y=5872-2.102x$ , $r=-0.30$ ,相关检验结果 $\alpha<0.02$ 。由表1可以看出,2月份日照时数随年份略有增加外,其他月份气候倾向率全为减少趋势,10、1、5月下降最为明显,为每10年减少3.618~5.882h。

3 气候因素和小麦产量的关系

为定量探讨冬小麦产量与气候条件的基本关系和规律,了解产量变化的气候原因、气候因素对产量的影响程度和小麦生长的气候关键期,进一步明确冬小麦栽培中的某些问

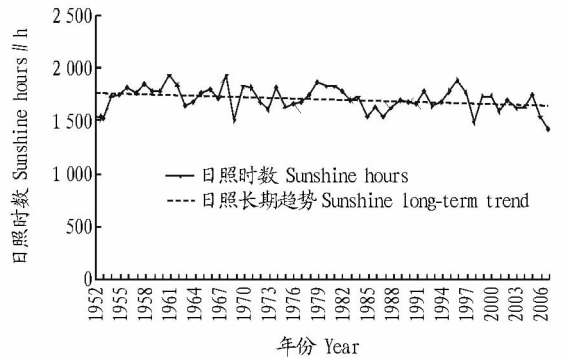


图3 1952~2007年小麦生育期日照时数变化趋势

Fig. 3 Variation trend of sunshine hours in wheat growth period from 1952 to 2007

题,使用积分回归分析以及相关、偏相关统计方法,对冬小麦气候产量与各月气温、降水、日照进行统计分析。

冬小麦逐年产量 $Y_t$ 可以认为是由气候波动原因所影响的产量 $Y_w$ (称为气候产量)和由于水、肥、种子、技术进步、管理水平等人为因素所影响的产量 $Y_t'$ (为趋势产量)所组成的,即 $Y_w = Y_t - Y_t'$ 。应用一种幂函数正交多项式得到拟合趋势产量方程: $Y_w = 947.1 - 83.88T + 7.188T^2 - 0.08137T^3$ 。

$T$ 序列从0~55共56年,趋势产量拟合曲线(图4),由图4可见,莱阳市趋势产量以逐年上升为主,前期、后期上升缓慢,中期上升较快,根据上式计算出逐年的气候产量值,利用气候产量值与小麦生育期各月气温、降水、日照求得相关和偏相关系数(表2)。

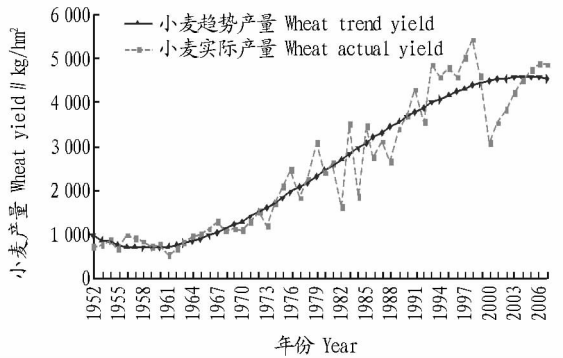


图4 1952~2007年小麦实际产量与趋势产量变化

Fig. 4 Variation of wheat actual yield and trend yield from 1952 to 2007

利用积分回归分析,将气候产量与小麦生长期内各月气温、降水、日照时数进行统计计算,得出各生育时段气温、降水、日照的回归系数值(表2),其数值表示某月某一气象要素每增加一个单位值,单位面积可增加该数值的产量,如5月份由于气温偏高,可造成减产150.5kg/hm²。

由表2知,同一时段同一气象要素的相关系数和偏相关系数符号多数是一致的,只有4项符号相反,占1/6。这说明多数情况下,可以使用相关系数来说明气象因素与小麦产量的关系,但是有时用简单相关系数不能很好地说明问题。下面主要用偏相关系数和积分回归系数说明气象要素与小麦产量的关系。由表2可知,2、11月份气温偏高有利于小麦产量提高,3、4、5、12月份气温偏低有利于小麦生长,特别是5月份的高温对小麦生长十分不利。从降水来看,莱阳市小麦

生长关键期为 2、3、4、12 月,而该地这几个月份自然降水很难满足小麦生长的需要。从日照情况看,2、5、10、12 月日照不能满足小麦生长的需要,11 月日照过剩。

表 2 冬小麦气候产量与气温降水日照时数的相关、偏相关和积分回归系数

Table 2 Correlation, partial correlation and integral regression coefficient between winter wheat climate yield and temperature, precipitation, sunshine hours

月份 Month	气温与气候产量的相关系数 Correlation coefficient between temperature and climate yield	气温与气候产量的偏相关系数 Partial correlation coefficient between temperature and climate yield	气温的回归系数 Regression coefficient of temperature	降水与气候产量的相关系数 Correlation coefficient between precipitation and climate yield	降水与气候产量的偏相关系数 Partial correlation coefficient between precipitation and climate yield	降水的回归系数 Regression coefficient of precipitation	日照与气候产量的相关系数 Correlation coefficient between sunshine and climate yield	日照与气候产量的偏相关系数 Partial correlation coefficient between sunshine and climate yield	日照的回归系数 Regression coefficient of sunshine
10	-0.005	0.075	29.0	0.079	0.028	0.4	0.285	0.328	5.1
11	0.328	0.206	76.6	0.289	0.173	3.1	-0.218	-0.220	-3.8
12	0.078	-0.186	-35.2	0.340	0.245	11.8	-0.135	0.102	1.8
翌年 1	0.157	0.010	5.0	0.130	0.120	3.0	0.032	0.002	0.0
翌年 2	0.186	0.269	57.3	0.226	0.305	12.1	0.010	0.122	2.5
翌年 3	-0.051	-0.172	-62.7	0.344	0.427	11.2	-0.015	0.057	1.1
翌年 4	-0.072	-0.049	-23.0	0.373	0.318	5.4	-0.093	-0.054	-0.9
翌年 5	-0.274	-0.289	-150.5	0.109	0.028	0.4	0.035	0.147	2.5

表 3 给出了气象要素波动引起产量的波幅(假设在气象要素的波动范围内回归系数不变),其中降水波幅是指某月历年降水中大于平均值的各年份取平均值与历年小于平均值的各年份取平均值,两个平均值之差。如 2 月份降水波幅是指从 1952~2007 年中各年 2 月份降水中取出大于平均值

的各年份求平均记为  $m_1$ ,再用各个小于平均值的年份降水数值求平均值,记为  $m_2$ ,2 月份降水波幅  $m = m_1 - m_2$ ,其他各要素的波幅意义相同。最大波幅是指某时段某要素各年数值序列中最大值减去最小值。

表 3 气象要素变幅引起产量波幅

Table 3 Yield amplitude caused by meteorological factors variation

月份 Month	气温变幅 Temperature amplitude	气温引起产量幅度 Yield amplitude caused by temperature	气温最大变幅 Maximum amplitude of temperature	气温引起产量最大变幅 Yield maximum amplitude caused by temperature	降水变幅 Precipitation amplitude	降水引起产量幅度 Yield amplitude caused by precipitation	降水最大变幅 Maximum amplitude of precipitation	降水引起产量最大变幅 Yield maximum amplitude caused by precipitation	日照变幅 Sunshine amplitude	日照引起产量幅度 Yield amplitude caused by sunshine	日照最大变幅 Sunshine maximum amplitude	日照引起产量最大变幅 Yield maximum amplitude caused by sunshine
10	2.0	58.0	6.1	176.9	42.6	17.0	95.9	38.4	52.6	268.3	136.3	695.1
11	2.1	160.9	5.9	451.9	39.6	122.8	102.6	318.1	49.0	186.2	149.3	567.3
12	2.4	84.5	7.0	246.4	15.7	185.3	29.0	342.2	44.9	80.8	129.1	232.4
翌年 1	2.6	13.0	6.7	33.5	19.7	59.1	50.4	151.2	41.3	0	109.7	0
翌年 2	3.2	183.4	9.8	561.5	16.1	194.8	33.1	400.5	39.8	99.5	120.4	301.0
翌年 3	2.2	137.9	6.8	426.4	22.7	254.2	77.4	866.9	42.6	46.9	103.5	113.9
翌年 4	1.7	39.1	5.0	115.0	41.6	224.6	103.7	560.0	43.5	39.2	129.7	116.7
翌年 5	1.5	225.8	4.6	692.3	50.7	20.3	141.7	56.7	48.7	121.8	129.0	322.5
平均		112.8		338.0		134.8		341.8		105.3		293.6

从表 3 可知,2、3、5、11 月份气温引起小麦的产量波幅最大;2、3、4、12 月降水引起小麦的产量波幅最大,为需水关键期;2、5、10、11、12 月日照时数的波动对产量的影响最大。最大波幅对产量的影响与波幅对产量的影响意义相同,只是数值要大几倍。气温、降水、日照的波动对产量造成的波幅数值相当,其重要程度相同。

#### 4 气候变化对小麦生产的影响

4.1 气候变化对小麦发育各时期的利弊分析 从 10 年气候倾向值和气象条件与小麦气候产量的偏相关系数(表 4)可以看出,1、2、10、11 月气温升高对小麦生产有利,而 3、4、5、12 月的升温对小麦生产不利;从降水看,除 3、5 月降水量增加对小麦生产有利外,其他月份降水减少对小麦生产不利;11 月份

日照时数减少,2 月份日照时数增加,4 月份日照时数减少对小麦生产有利,其他月份日照时数减少对小麦生产不利。

4.2 气候变化对小麦气候生产的影响 设气象要素的 10 年变化幅度内,气象要素与气候产量的积分回归系数不变,计算出各要素 10 年气候倾向率造成的气候产量的变化,从表 4 可以看出,无论是气温、降水、还是日照时数,随着气候的变化对小麦的生产都是不利的,其中日照时数的变化造成产量的下降幅度最大,气候生产力每 10 年约下降 80 km/hm<sup>2</sup>。

4.3 气候变化引起播种期和全生育期的变化 冬小麦冬前大于等于 0℃的积温为 500~600℃<sup>[4]</sup>,冬小麦播种过早积温偏高,造成冬前分蘖过多旺长,易出现严重冻害,播种过晚,密度不足,不易形成壮苗,也不利于越冬。而随着气候的变

暖,为满足冬前最适积温条件,播种期必须相应后推。统计1980~2008年莱阳市播种期数据得出,莱阳小麦播种期每10年后推6.2 d。

作物的生长发育需要一定的有效积温,随着气温的升

高,达到某一特定积温的时间就会相应缩短,统计1980~2008年小麦全生育期长度发现,小麦全生育期日数逐年减少,平均每10年缩短7.01 d。生育期缩短,使作物有机质积累量下降,也造成品质的下降<sup>[2]</sup>。

表4 莱阳气象要素的10 a倾向值对产量的影响和小麦气候产量与气候要素的偏相关系数

Table 4 Effects of 10 years inclination value of Laiyang meteorological factors on yield and partial correlation coefficient between wheat climate yield and weather factors

月份 Month	气温10 a 倾向 10 years inclination of temperature	气温与气候 产量的 偏相关 Partial correlation between temperature and climate yield	气温变 化对应 产量倾 向 Corresponding yield inclination of temperature change	降水10 a 倾向 10 years inclination of precipitation	降水与 气候产 量的偏 相关 Partial correlation between precipitation and climate yield	降水变化对 应产量倾向 Corresponding yield incli- nation of precipitation change	日照10 a 倾向 10 years inclination of sunshine	日照与气候 产量的 偏相关 Partial correlation between sunshine and climate yield	日照变化 对应产 量倾向 Corresponding yield inclination of sunshine change
10	0.326	0.075	9.5	-1.901	0.028	-0.8	-5.882	0.328	-30.0
11	0.226	0.206	17.3	-3.110	0.173	-9.6	-1.390	-0.220	5.3
12	0.243	-0.186	-8.6	-0.215	0.245	-2.5	-3.180	0.102	-5.7
翌年1	0.434	0.010	2.2	-0.248	0.120	-0.7	-4.428	0.002	0.0
翌年2	0.523	0.269	30.0	-0.245	0.305	-3.0	0.668	0.122	1.7
翌年3	0.456	-0.172	-28.6	0.296	0.427	3.3	-1.068	0.057	-1.2
翌年4	0.384	-0.049	-8.8	-1.367	0.318	-7.4	-0.985	-0.054	0.9
翌年5	0.226	-0.289	-34.0	3.552	0.028	1.4	-3.618	0.147	-9.0
合计			-21.0			-19.3			-38.0

**4.4 气候变化对小麦生育期内干旱程度的影响** 冬小麦全生育期正值莱阳市少雨阶段,降水不足及干旱的出现是影响莱阳市冬小麦产量的主要气候因素,从表4中降水与小麦产量的偏相关系数可以看出,2、3、4月份的降水量明显不能满足小麦生长的需要,严重影响了小麦产量的提高,半个世纪来,莱阳市降水趋于减少,气温取暖,蒸发加剧,旱灾频次增多。统计1980~2008年得出,小麦生育期内,干旱日数平均以每年2.79 d递增,气候变化造成的小麦对水分供需的矛盾日益尖锐。

## 5 对策分析

研究表明,气溶胶增加、日照时数减少、气温升高等不利气候的产生主要是由于温室气体排放等人为因素所造成。为应对气候变化,促进可持续发展,减少气候变化对小麦生产的危害,首先应调整能源结构,加大风能、太阳能、核能等的开发利用,减少能源中煤炭、石油等化石类燃料的比重。

随着气温的升高,推迟播期,使小麦越冬前形成合适的苗情,既不出现弱苗也不出现旺长,冬前进行灌溉。随着气候变化,冬前干旱越来越严重,小麦冬前灌溉比较重要;2月

份气温低,应划锄保墒提温,一般不浇水;3、4月应适时灌溉,此时是小麦需水关键期,水分供应对小麦的产量影响最大;5月适量灌溉,既能保证小麦生长用水,又可减轻高温天气对小麦生长发育的不利影响;同时适当培育和引进耐旱抗高温小麦品种。

## 参考文献

- [1] 朱宝文,许存平,宋理明.气候变化对小油菜生长发育及产量的影响[J].气象科技,2008,36(2):206-209.
- [2] 丁丽佳.潮州气候变化特征及其对农业生产的影响和对策[J].气象科技,2009,37(2):190-195.
- [3] 喻彦,蒙桂云,张利才.西双版纳地区近45年来气候变化特征[J].气象科技,2008,36(4):410-413.
- [4] 张翠英.气候变暖对鲁西南冬小麦播种期的影响[J].气象科技,2008,36(5):609-611.
- [5] 陈芳,汪青春,殷万秀.青海省近45年霜冻变化特征及其对主要作物的影响[J].气象科技,2009,37(1):35-41.
- [6] 郑丽娜,靳军,李建明.东营市暴雨气候特征[J].气象,2008,34(8):58-62.
- [7] 屠其璞,王俊德,丁裕国,等.气象应用概率统计学[M].北京:气象出版社,1984:374-377.
- [8] 刘汉中,龚绍先,赵明斋,等.农业气象学[M].北京:科学出版社,1982:351-352.

(上接第15737页)

- tion of a polygalacturonase inhibitor from *Pyrus communis* L. cv. Bartlett [J]. Plant Physiol, 1993, 102(1): 133-138.
- [6] SIMPSON V, HENEEN W K. Genetic variation within and among different cultivars and landraces of *Brassica campestris* L. and *B. oleracea* L. based on isozymes [J]. Theor Appl Genet, 1995, 91: 346-352.
  - [7] STOTZ H U, CONTOS J J, POWELL A L, et al. Structure and expression of an inhibitor of fungal polygalacturonase from tomato [J]. Plant Mol Biol, 1994, 25(4): 607-617.
  - [8] FAVARON F, D OVIDIO R, PORCEDDU E, et al. Purification and molec-

- ular characterization of a soybean polygalacturonase-inhibiting protein [J]. Planta, 1994, 195(1): 80-87.
- [9] YAO C, CONWAY W S, REN R, et al. Gene encoding polygalacturonase inhibitor in apple fruit is developmentally regulated and activated by wounding and fungal infection [J]. Plant Mol Biol, 1999, 39(6): 1231-1241.
  - [10] MATTEI B, BERNAKIA M S, FESERICI L, et al. Secondary structure and post-translational modifications of the leucine-rich repeat protein PGIP from *Phaseolus vulgaris* [J]. Biochemistry, 2001, 40(2): 569-576.