

辽京冀冬麦农业气候北界的研究*

王 宏

(中国科学院地理研究所)

摘 要

本文提出了一个划分冬麦农业气候北界的数学模型,它包括:1.气候—冬麦越冬死亡率方程;2.空间—气候方程;3.将所研究地区划分网格,利用上述两组方程推算出每个网格的冬麦越冬死亡率,并根据死亡率的多少,通过电子计算机划出安全种植北界和可能种植北界。这个数学模型对农业气候区划的方法有一定参考意义。

一、引 言

三十年代,冬麦大体上以一月平均气温 -6°C 等温线为界^[1]。五十年代,冬麦北界经过辽宁的复县和新金的中部,在北京和河北境内与长城基本吻合,一月平均气温在 -8°C 以下^[2]。现在,辽宁的锦州、营口、鞍山和朝阳地区,北京的延庆以及河北的承德、张家口等地都有冬麦种植,与五十年代相比,向北推移了一百多公里。但是,冻害是冬麦北移的最大障碍。三十年来,辽宁、北京和河北的冬麦曾发生五次严重的冻害(1956—1957年、1960—1961年、1967—1968年、1976—1977年、1979—1980年)。在这些年份里,小麦的死亡由南向北逐渐加重,不但造成了大幅度减产,也使冬麦种植面积时增时减,很不稳定。例如,七十年代以来辽宁省冬麦面积逐年增加,1976年秋播种120万亩,创了历史最高纪录。然而这年冬季发生了严重的冻害,全省实际收获面积只有五十几万亩。此后,冬麦面积遽减,只剩下老麦区的三、四十万亩。因此,划分辽京冀地区的冬麦农业气候北界,以便为作物的合理布局提供依据,在当前显得十分重要。

对于冬麦的农业气候北界,国内外曾有许多研究^[1-9],采用的方法不同,确定的指标亦各异。本文在实际调查的基础上,用理论推定的方法对辽京冀地区的冬麦农业气候北界进行了探讨。

二、方 法

划分作物种植界限的传统方法是,根据作物的实际分布情况确定农业气候指标,再用气象站的气候资料连接该指标的等值线。在实际调查中发现,该地区冬小麦的分布不但受气候

* 本文是黄秉维先生指导下的硕士论文的一部分。本所牛文元、北京市农科院郑大璋、中国科学院植物研究所王世之、北京农业大学郑剑飞和韩湘玲等同志曾给予帮助和指导,作者表示谢意。

条件的制约,还受其他自然条件和社会经济因素的深刻影响。用上述方法确定的指标,实际上不是真正的农业气候指标。此外,该地区具较长历史的气象站数目少,分布不均,也会使界线的精度受到影响。为了解决这些问题,本文建立了一个数学模型。它包括:

1. 气候——冬麦越冬死亡率方程;
2. 空间——气候方程;
3. 利用上述两组方程,计算该地区各地点的冬麦越冬死亡率,并进行分类和制图。

数据的计算、处理和制图都是利用 FELIX C-512 系统计算机完成的。

(一) 气候—冬麦越冬死亡率回归方程

这个方程是以冬麦越冬死亡率为因变量 (Y),以若干气候要素为自变量 (x_i) 的多元线性回归方程。死亡率是冬麦越冬存活情况的定量描述,是能否种植冬麦的农学指标。该方程将气候要素同死亡率建立数学关系,从而可以根据死亡率来确定气候指标,使界线的划分有比较充分的科学依据。

由于该地区内部气候特点差异不大,冬麦种植管理方法类似,冬麦越冬死亡原因也基本相同¹⁻³),因此可以建立统一的回归方程。因变量 (Y) 数据来自该地区内北纬 39—42 度之间,1972—1980 年农田的实际调查。调查田块为一般管理条件的平肥水浇地。品种为当地主栽的抗寒良种东方红三号。由于东方红三号只是在七十年代以后才广泛种植,因此只获得了九年的资料,但这九年中有两年发生了严重冻害,有一定代表性。自变量 (x_i) 数据来自气象站的资料。

影响该地区冬麦越冬死亡的气候因子是多种多样、错综复杂的,但主要原因是冬季低温的强度及其持续时间;冬前的温度条件影响冬麦的抗寒力,因而也很重要;小麦萌动返青后出现的倒春寒可以加重冻害的发生。因此,选取了 13 个有关的气候要素作为自变量参加回归方程的计算。这些变量是:

- x_1 —10 月平均气温 $^{\circ}\text{C}$;
- x_2 —11 月平均气温 $^{\circ}\text{C}$;
- x_3 —12 月平均气温 $^{\circ}\text{C}$;
- x_4 —1 月平均气温 $^{\circ}\text{C}$;
- x_5 —日平均气温稳定通过 6°C 到 0°C 间天数⁴);
- x_6 —日平均气温稳定通过 0°C 到 -5°C 间天数;
- x_7 — $x_5 + x_6$;
- x_8 —日平均气温稳定通过 6°C 的日期⁵);
- x_9 —日平均气温稳定通过 0°C 的日期⁵);

1) 陈立人,冬小麦冻害及防御效果,引自《抗御低温冷害》,辽宁人民出版社,1978 年。

2) 郑大璋,小麦冻害和防冻保苗,北京农林科技,7 期,1980 年。

3) 张文柱,唐山地区冬小麦冻害原因的初步分析和防御措施的探讨,河北农学报,一期,1981 年。

4) 据杜曼诺夫 (B. B. 西涅里席柯夫,农业气象预报和情报的方法,北京农业大学译,高等教育出版社,1960) 研究,冬麦冬前抗寒锻炼分为气温 $6-0^{\circ}\text{C}$ 和 $0--5^{\circ}\text{C}$ 两个阶段。

5) 10 月 30 日为 -1, 10 月 31 日为 0, 11 月 1 日为 1, 2 日为 2, 依此类推。

x_{10} —日平均气温稳定通过 -5°C 的日期; 1)

x_{11} —一年绝对最低气温 $^{\circ}\text{C}$;

x_{12} —最低气温 $\leq -20^{\circ}\text{C}$ 的天数;

x_{13} —滑动通过 3°C 后日平均气温最低值 $^{\circ}\text{C}$; 2)

为了选择对 Y 贡献最大的自变量组成方程, 将次要自变量剔除, 使方程既能达到精确的要求又使用起来方便, 采取了逐步回归的方法进行计算^[10]。计算结果, x_2 、 x_4 和 x_{12} 被选入方程, 其余的变量全部剔除。方程如下:

$$Y = -1.62 - 2.11x_2 - 3.14x_4 + 0.55x_{12} \quad (1)$$

如表 1 所示, 回归方程的效果是很好的。三个自变量对 Y 的作用的物理意义是很清楚的, 一月平均气温 (x_4) 和最低气温 $\leq -20^{\circ}\text{C}$ 的天数 (x_{12}) 反映了冬季的寒冷程度和持续时间, 11 月平均气温 (x_2) 反映了小麦冬前积极生长时间的长短。三个自变量同 Y 都有极好的负相关。偏回归平方和能够反映自变量在方程中所起作用的大小, 因此 x_4 对方程的作用最大, x_{12} 次之, x_2 最小。

表 1 回归方程 (1) 效果检验及自变量在方程中的作用

自变量	同Y的相关系数*	偏回归平方和	位次	方程检验
x_2	-0.77	0.016	3	$R^{**} = 0.86$
x_4	-0.83	0.043	1	$S^{***} = 10.70$
x_{12}	-0.75	0.023	2	$F^{****} > F_{3,92}^{0.01}$

* 相关系数 $r_{0.001}^{(90)} = 0.338$

** R 为复相关系数 (下同)

*** S 为剩余标准差 (下同)

**** F 为 F 检验

倒春寒 (x_{13}) 虽然在冬季发生冻害的年份可以加重冬麦的死亡, 但对安全越冬的冬麦影响不大, 它同 Y 的相关系数只有 -0.22 , 因此未被选入方程。其他变量被剔除的原因或与 x_{13} 相同, 或是因为与被选入的某个变量有较好的相关, 其作用被后者所代替。为了进一步验证方程的可靠性, 将 10 组未参加计算方程的数据代入方程, 检查内符情况。图 1 可以看出, 内符的情况比较理想。因此, 用此方程推算本地区内的冬麦越冬死亡率是完全可行的。

(二) 空间—气候方程

此方程的建立是为了估算无测站地点的气候条件, 以提高划分界线的精度。本文采用统计学方法, 此法若利用电子计算机计算, 简便迅速, 容易得到拟合得比较好的数学模式。国

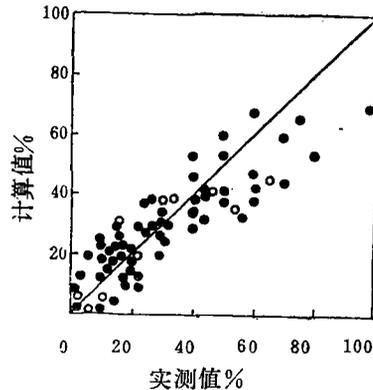


图 1 方程 (1) 内符图

1) 同上一页脚注 5)。

2) 据北京市农科院, 北京地区的小麦越冬问题和防冻保苗措施 (1979 年油印稿), 日平均气温滑动通过 3°C 后冬麦即开始萌动返青, 因此 x_{13} 可作为倒春寒的指标。

外已有人将此法应用于农业气候资源区划^[11,12]。地理纬度 (L_a)、经度 (L_o) 和海拔高度 (H) 构成了地理三维空间,是决定气温条件的重要地理要素,因此以这三个变量为自变量,分别以气候—冬麦越冬死亡率方程中的三个气候要素 X_2 (11月平均气温 $^{\circ}\text{C}$)、 X_4 (1月平均气温 $^{\circ}\text{C}$) 和 X_{12} (最低气温 $\leq -20^{\circ}\text{C}$ 的天数) 为因变量,建立空间—气候方程。考虑到三个自变量之间的交互作用和它们同因变量的非线性关系,各自变量的三次项、二次项以及乘积项也参加了计算,总共 19 项,用逐步回归的方法进行筛选。数据来自该地区内 72 个有 20—30 年历史的气象站。结果如下:

$$X_2 = 30.61 - 3648 \times 10^{-9} L_a L_o^2 - 1425 \times 10^{-7} L_o^3 H$$

$$(R = 0.97, S = 0.53) \quad (2)$$

$$X_4 = 37.25 + 647 \times 10^{-11} L_a^3 + 4037 \times 10^{-6} L_o^3 + 69$$

$$\times 10^{-6} H^3 - 13 \times 10^{-8} L_a^2 H - 21989 \times 10^{-7} L_o^2 H$$

$$(R = 0.96, S = 0.69) \quad (3)$$

$$X_{12} = -112.02 + 149 \times 10^{-10} L_a^3 - 108 \times 10^{-7} L_a^2 L_o$$

$$+ 389 \times 10^{-8} L_o^2 H + 597 \times 10^{-6} L_o^2 H$$

$$(R = 0.94, S = 4.00) \quad (4)$$

回归方程的效果都很好。因为是非线性回归方程,方程不仅反映了三个自变量的作用,还在一定程度上反映了大气环流和大的地形条件的影响。可以用于小比例尺的农业气候区划。

(三) 北界的划分

该地区内许多地方采取沟播和覆土等特殊的保护措施,以提高冬麦的越冬存活率,使冬麦得以安全种植。因此,本文划分两条界线:一条是安全种植北界,即冬麦在一般管理条件下能够安全种植的界线;一条是可能种植北界,即冬麦只有采取特殊的越冬保护措施才能安全种植的界线。

该地区冬麦在正常年份越冬后也有一部分死亡,但由于补偿作用并不影响产量。如在北京北部和河北长城附近区域冬麦常年死茎 10—20%¹⁾,辽宁省冬麦死亡率只要在 20% 以下就对产量无多大影响²⁾。因此用多年平均死亡率 20% 作为安全种植北界的指标。沟播和覆土等特殊的保护措施对冬麦越冬保苗作用十分明显,一般可减少死亡 20% 以上³⁾,以低值 20% 计,则可以把可能种植北界的指标定为 40%。分别将 20% 和 40% 代入方程 (1),即可求出相应的气候指标。但因为方程 (1) 是多元回归方程,每个 x_i 都有无穷个解。实际上,在一个内部气候特点差异不大的地区内,有关温度条件的气候要素都有较好的相关。因此根据该地区的具体情况,可以大致推算出种植北界的气候指标。结果见表 2。

为了改变用单一的气候要素划分界线的方法,这里采用方程 (1) 推算出来的死亡率来划分。其具体方法是:在 1:100 万地形图上,将该地区划分 10×10 平方公里的网格,把

1) 北京市农科院,北方冬麦区东部越冬条件和引种问题(油印稿),1981年。

2) 辽宁省冬小麦越冬保苗与气象条件关系试验研究协作组,辽宁省冬小麦越冬死亡的主要原因及其栽培北界的探讨,(油印稿),1981年。

3) 北京市农科院,北京地区的小麦冻害和防御对策(油印稿),1981年。

表 2 冬麦北界的农业气候指标

种 类	一月平均气温 (°C)	十一月平均气温 (°C)	最低气温 < -20°C 的天数	年绝对最低气温 多年均值 (°C)
安全种植北界	-8.0	2.0	3	-21.0
可能种植北界	-11.0	0.5	15	-25.0

每个网格上的纬度、经度和海拔高度代入方程 (2)、(3) 和 (4), 计算出每个网格上的 X_2 、 X_4 和 X_{12} 值。再将 X_2 、 X_4 和 X_{12} 的值代入方程 (1), 则算出每个网格上的 Y 值, 也就是冬麦越冬死亡率的多年均值。最后把死亡率分成 <20%、20—40% 和 >40% 三类, 用宽行打印机制图, <20% 与 20—40% 的交界为安全种植北界, 20—40% 与 >40% 的交界为可能种植北界。

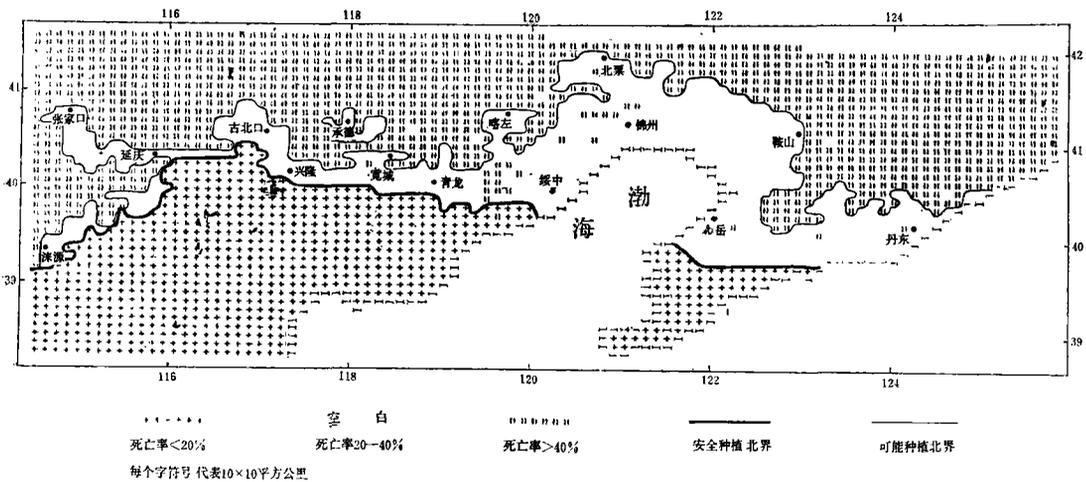


图 2 辽冀冬麦农业气候北界图

三、结 果

如图 2 所示, 冬麦安全种植北界在辽东半岛东起庄河北部, 西至复县中部, 海拔高度在 200 米以下。然后过渤海从绥中南部开始, 沿长城西行至密云县, 穿过怀柔和昌平 300 米以下的北部丘陵, 再沿太行山南下, 经房山、易县、完县和涞源等地的 500 米以下的河谷盆地进入山西境内。可能种植北界由辽东半岛的宽甸南部开始, 接凤城和岫岩的中部 300 米以下的地区, 再绕过千山北上, 从鞍山开始西行, 穿过黑山、北镇、义县、北票、朝阳、建昌、喀左以及凌源境内的努鲁尔虎山和松岭山脉 400 米以下的丘陵谷地, 进入长城以北的青龙、宽城、兴隆以及密云境内的 500—600 米以下的地区, 再南下经过易县和涞源 800 米以下的丘陵谷地进入山西省。延庆、怀来、宣化盆地和承德盆地呈岛状, 高度在 700 米以下。

安全北界南侧多为低缓的丘陵和山麓平原。河北和北京北部由于燕山和军都山的屏障作

用,气温比辽宁同纬度地区高一些。无霜期在 170—190 天以上,可以实行复种或套种,小麦可作为中晚熟秋收作物的后茬,冬前的生长时间比较充足。冬麦种植历史久远,管理精细。可能种植区的地形比较复杂。辽东丘陵降水多,冬季有一定的积雪覆盖。辽西丘陵山地向东南倾斜,气温有所提高,但降水少,特别是春旱严重。辽河平原夹在丘陵中间,加上由北向南缓慢降低的趋势,产生增温作用,使界线向北突出,长城以北为燕山南侧的丘陵地区、冀西北间山盆地和冀北山地的承德盆地,太行山东侧为涞源等一些盆地和谷地。无霜期 150—170 天,冬麦的前茬种中早熟大秋作物比较适宜,如种晚熟品种,可造成冬麦冬前生长的时间不足。目前可能种植区冬麦面积不大,分布零星,安全北界附近略多一些。面积少的原因,除了冻害以外,还有水利条件、管理水平、种植习惯和成本核算等。一些地方的经验证明,该地区冬麦的产量明显高于春麦,种植冬麦还有利于发展复种和套种,更多地利用光温资源,提高产量。因此,在一些有条件的地方适当地发展冬麦是很有意义的。但是,由于沟播和覆土等保护措施用工量大,要求严格,难以大面积推广。因此,对于可能种植区的冬麦种植,目前尚不具备大发展的条件。

四、讨 论

1. 与他人所划冬麦种植北界的比较

本文所划的冬麦安全种植理论北界与五十年代^[2]的实际种植界线相比并没有明显北移。这说明近十几年冬麦种植向北扩展,主要原因不是品种抗寒力的提高,而是与七十年代出现的暖冬和采取了防寒保护措施有关。文献〔9〕所划分的冬麦北界虽然比较粗略,但同本文所划的安全北界差异不大。文献〔8〕提出的指标为年绝对最低气温均值 -24° — -25°C ,相当于一月平均气温 -10° — -11°C 左右,可推算出越冬死亡率为 35—40%。显然,作为安全北界的指标是不适宜的。若作为可能北界的指标,则与本文相似。

2. 种植北界的应用

本文对冬麦种植北界的划分,只考虑了该地区能否种植冬麦的主要气候条件,实质上划分的是限制性农业气候北界。在进行农业区划和作物布局时,还要考虑气候条件和土壤条件对冬麦的生长是否适宜,能否获得高产,等等。

客观上并不存在一条泾渭分明的界线,冬麦越冬情况的地理变化往往是渐变的。所谓界线只是人们根据越冬死亡对小麦生产的影响程度人为划分的,在实际应用时要注意这一点。例如,在安全北界的南侧附近地区也要重视安全越冬问题。利用方程(1)可以计算出该地区任何地点的冬麦越冬死亡率,这对指导生产有一定意义。另外,随着品种抗寒力和防寒保护措施或是气候条件的改变,界线也会相应改变。

划分界线所用的气候资料是多年平均值,保证率只有 50%。之所以没有采用通常所用的 80%或 70%的保证率,是考虑到,作为小麦的生产布局,应以多大的冻害发生机率为界限标准,这实际是个最优决策的问题,尚有待研究。不然,到底该用多大的保证率,是没有充分依据的。本文所讨论的,只是农业气候界线问题,在应用时,只要注意到它的置信度就可以了。

3. 数学模型的应用

本文提出的划分冬麦种植北界的数学模型, 使界线的划分变经验性的推断为理论推定, 提高了准确性和精确性。这个数学模型对于其他作物的气候界线的划分和农业气候区划都有一定的参考意义。但仅是初步的尝试, 尚需进一步改进和完善。

方程(1)是逐步回归计算的结果, 因此是现有数据下最佳的方程。但如果为了计算方便而放宽对误差的要求, 也可以运用二元或一元回归方程。其形式是:

$$Y = -16.39 - 4.44x_4 + 0.57x_{12} \quad (R = 0.85, S = 10.96) \quad (5)$$

$$Y = -24.41 - 5.82x_4 \quad (R = 0.83, S = 11.38) \quad (6)$$

气候——冬麦越冬死亡率方程也可以用来预测生产上的冻害。这除了需要更长时间和更多地点的数据外, 还要选取较多的影响冬麦越冬的气候要素作自变量, 例如冬前锻炼、降雪以及倒春寒等因素都要考虑到。

空间——气候方程, 作为估算无测站点气候条件的一种方法可以得到广泛的应用。如果增加反映地形要素的自变量, 会使方程的效果更好。如铃木荣一^[13]选取了包括高度、起伏度、坡度和坡向等 15 个地理要素为自变量, 建立了估算月平均气温的回归方程。这样的方程可以反映地形条件对气候的影响, 对开展山地农业气候资源调查和区划很有意义。

本文划分北界时使用了 1:100 万地形图, 每个网格代表 100 平方公里, 这作为全国性区划是可用的。但若进行省、地一级的区划, 则需要使用较大比例尺的地形图, 并划分较小的网格。

参 考 文 献

- (1) 胡焕庸: 中国之农业区域, 地理学报, 3, 1—17, 1936 年。
- (2) 金善宝: 中国小麦栽培学, 农业出版社, 1961 年。
- (3) Seemann, J., et al., Agrometeorology, Berlin, Springer, 1979.
- (4) Shul'gin, A.M., Agrometeorological conditions and overwintering of winter crops, F.C.A., 24, 2, 1590, 1971.
- (5) 中国农科院: 小麦栽培理论与技术, 农业出版社, 1979 年。
- (6) 黄秉维: 自然条件与作物生产—温度, 引自“农业现代化概念(光能与气候资源利用)”, 中国农科院情报所, 1978 年。
- (7) 丘宝剑等: 中国农业气候区划试论, 地理学报, 2, 116—125, 1980 年。
- (8) 段运怀等: 我国农业气候资源与种植制度的热量条件区划, 中国农业科学, 3, 57—65, 1981 年。
- (9) 郑剑飞: 从农业气候观点探讨我国东部季风区两个热量带的划分, 北京农业大学学报, 1, 61—72, 1981 年。
- (10) 南京大学数学系计算数学专业: 概率统计基础和概率统计方法, 科学出版社, 1979 年。
- (11) Hopkins, J.W., Correlation of air temperature normals for the Canadian Great Plains with latitude, longitude and altitude, Can.J. Earth Sci., 5: 199—210, 1968.
- (12) Williams, G.D.V., et al., Mesoscale agroclimatic resource mapping by computer, an

example for the Peace River region of Canada, *Agric. Meteorol.*, 21: 93-109, 1980.

〔13〕 坪井八十二, 農業氣象ハンドブック, 東京, 養賢堂, 1974 年。

STUDIES ON THE NORTH AGROCLIMATIC BOUNDARIES OF WINTER WHEAT IN LIAONING, BEIJING AND HEBEI

WANG HONG

(Institute of Geography, Academia Sinica)

Abstract

A mathematical model about dividing the north agroclimatic boundaries of winter wheat in Liaoning, Beijing and Hebei has been set up in this paper. Spatial climatic equations were used to estimate temperature normals of any point in this region. The agroclimatic equation of death percentage of winter wheat was then applied to the point estimates of winter survival.

Death percentages of each grid representing a square area (10×10 km) on the topographic maps of 1:1,000,000 scale were computed by the mentioned equations. All these death percentages were then classified into three classes ($<20\%$, $20-40\%$ and $>40\%$) by computer and printed out by LPT. The demarcation between the first class and the second one is called the safe planting boundary of winter wheat and the other demarcation is the potential planting boundary.

The results indicated that the safe planting boundary is similar to the natural boundary in the 1950's in the same area. In the potential planting region, winter wheat should take protective measure with great care so as to reduce the freeze damage.