

农业科技参考資料(十五)

作物气候生态研究論文选譯

吉林省农业科学院科学技术情报研究室

一九六四年二月

PDG

前 言

气候条件的变化，对农作物丰歉的影响很大，故引起人们对研究作物生育产量与气候条件关系的广泛重视，目前我国已有不少单位在进行这方面的研究。

为了掌握国外的研究情况和方法，我们选译了美国、加拿大和日本的作物气候生态方面的研究论文十一篇汇编成册。

本册的前两篇介绍了作物气候生态研究的历史和概况，可借此了解其概貌。第二篇至第五篇是利用复相关和多重回归方法分析作物产量与气象要素的关系，并用正交多项式等方法来分析气象要素时间分布状况对产量的影响。第六篇则研究两个气象因素联合关系对产量的作用。应用这些统计方法进行作物气候的研究是很重要的。

“大豆生态学”方面的三篇文章，是应用人工控制和多年的地理播种试验，研究大豆发育速度与温度的关系，并进一步用热量单位法作出品种的气候分区。

“作物感应研究的方法”介绍了用分析法和综合法来研究作物对气候条件的要求，以及求找指标的方法。

本册由我室张戡同志等翻译整理，并经我院农业气象研究室潘铁夫同志审阅，丁希泉、王健青同志参加部分制图工作。

目 录

作物产量和最适宜的生态条件.....	(1)
伊利諾州沃尔班納南农場降水、溫度与玉米产量的关系.....	(5)
伊利諾州沃尔班納南农場降水、溫度与大豆产量的关系.....	(13)
粒用高粱生产中气候因素的評价.....	(17)
溫暖地区水稻栽培与气象要素的統計学的研究 (I)	(22)
溫暖地区水稻栽培与气象要素的統計学的研究 (II)	(30)
大豆生态学 (I) 控制环境研究 发育与溫度的关系.....	(34)
大豆生态学 (II) 田間研究 发育——溫度——水分的关系.....	(39)
大豆生态学 (III) 五大湖地区不同地帶和不同品种的大豆发育單位.....	(44)
作物感应研究的方法 (着重热效应)	(48)
热量單位做为測量玉米成熟期的方法.....	(54)

作物产量和最适宜的生态条件

C.P. Wilsie 和 R.H. Shaw

一、气候因素和作物产量

气候和作物产量间的关系是难以评价的，因为其中包含有复杂的相互作用。在某一生长时期，某一环境因素可能是决定因素，但在另一发育时期，其他因素可能是限制因素。相关性的研究可以表明产量和某一环境因素的共同变化，但不能证明其间的因果关系。

Rose (1936) 在玉米地带研究了气候因素与产量的关系。该地区东部边缘地带，生长季节初期的温度太低，南部边界的温度又太高，都不是玉米生长的最适宜温度。玉米地带的中心，产量和单一气候因素，如雨量或温度间的相关性是很低的。但这并不意味着这些因素不重要，而是说明水分和温度条件接近玉米的最适宜条件，不是限制因素。包括几个环境因素和产量的复相关常是较高的。从中部地区到边缘地带的玉米生产中，气候因素特别是水分，与作物产量间的相关性很可能是显著的。

Klages (1942) 提出在爱达荷州的波罗斯地区和华盛顿州的东部，接近小麦的最适宜的生态条件，一贯获得高产，季节的变异性低。在华盛顿州的浦尔曼，年降雨量将超过20吋，降水量和小麦产量间的相关性低。但在70哩以西的林特，年降水量为8吋，相关性高。Klages (1934) 在南达克塔州另一个研究中指出，该州中部地区的小麦、燕麦和大麦产量的年变异性，比在水分条件适宜的布鲁金斯更大。

Pengra (1946) 报导了在南达克塔州中部25年以上的期间，前一年秋季和冬季的降水量在小谷类作物生产中，与生长季节的降水量同样重要。对玉米来说，生长季节的降水量则更为重要。

Cole (1938) 报告称，在北部大平原地区春小麦的生产研究中，总降雨量对产量的影响比雨量分布的影响更大些。

Mathews 和 Brown (1938) 广泛地研究了南部大平原地区冬小麦的产量，认为获得任何一点儿产量所需要的最小降水量是7.37吋，此后，每增加0.51吋，每英亩平均可增产1蒲式尔。在年降水量仅有13吋的地方，80%的时候种小麦是失败了，即使降水量是19—20吋，由于该地区温度高，雨量分布反常，作物在四年中也可能有一年失败。

气候因素对作物质量也有影响。Thatcher (1913), LeClerc 和 Yoder (1914), Newton 和 Malloch (1930) 和 Bayfield (1936) 等人的研究，已经证明气候对小麦品质和面粉强度有显著的影响。Pahigian (1950) 在大豆市场研究报告称，夏季平均温度与大豆含油量有高度相关性。Weaver (1943a, 1943b, 1950) 的研究证明，在大麦生产中，特别是对制造麦芽糖品质的影响，气候因素是重要的。

二、平均作物产量和最适宜的生态条件

半个世纪以前，Schimper (1903) 认为最适宜的生态条件是一个高度理论的概念。把广大地区的作物平均产量进行比较，就是这一概念在实际中的应用。首先必须认识到，实际作物产量不仅依靠现在和过去的生产技术措施，同时也依靠自然环境条件。在某个地区，一个品种潜在的生产能力，大部分是决定于气候和土壤的共同影响。在任何一個較大的地区，例如一个郡、州或区域，就各种程度的管理能力的农民来说，在更有利的环境条件下，作物产量要比不利环境条件下的高一些。

Klages (1930) 报导了密西西比河谷地長时期的作物平均产量及其变异系数。该地区的气候变化情况是：从俄亥俄、印第安纳和肯塔基等州的湿润林地气候，到西面的北达科塔州和南面的特克斯萨斯州的半干旱气候。发现玉米地带（包括俄亥俄、印第安纳、伊利诺和艾奥华等四州）玉米的产量最高，变异性最低。从这个地区向北、向西和向南，随季节变异性的增加，玉米产量也逐渐下降。高肥的土壤、較暖和較長的生長季节，以及夏季高而稳定的降水量，都是玉米地带高产的因素。

燕麦的生产，亦即一般禾谷类作物的生产，最适宜的生态条件是在玉米地带稍北一些的地区。然而，欧洲西北部的气候对小谷类作物生产有利，而美国则很少有这样的气候。比利时、荷兰和丹麦等国，小麦的平均产量大約是每英亩50蒲式尔，而美国大約是每英亩13蒲式尔。在爱达荷、犹他和华盛顿的小面积地区，也象密西西比三角洲一样，小谷类作物也能经常获得高产，但是这些面积并不太大。

为了强调说明作物适应性的重要，將几种作物近年来的平均产量资料报导如下：

14年 (1939—1952) 玉米的收获面积，每英亩产量和产量变异性如表1：

表1* 玉米：收获面积、每英亩产量和产量变异性
1939—1952

州	別	面 积 (千英亩)	产量 (蒲式尔/英亩)	变 异 系 数 (%)
艾 奥 华		10,335	52.0	16.3
伊 利 诺		8,461	51.5	11.9
俄 亥 俄		3,460	49.5	12.3
印 第 安 纳		4,374	49.0	12.2
威 斯 康 辛		2,473	43.7	11.4
宾 夕 法 尼 亚		1,344	42.8	9.2
明 尼 苏 达		5,168	42.5	11.1
密 歇 根		1,669	37.1	18.3
密 苏 里		4,209	34.5	19.1
弗 吉 尼 亚		1,192	34.3	24.9
肯 塔 基		2,368	31.8	17.5
內 布 拉 斯 加		7,350	27.8	27.5
田 纳 西		2,328	27.3	15.3
北 卡 罗 来 纳		2,285	26.5	8.4
南 达 克 塔		3,551	24.9	24.8

州	別	面 积 (千英亩)	产 量 (蒲式尔/英亩)	变 异 系 数 (%)
堪 薩 斯		2,797	23.8	26.0
北 达 克 塔		1,161	21.2	12.4
阿 肯 色 色		1,547	19.8	22.3
俄 克 拉 何 馬		1,448	18.6	21.2
密 西 西 比		2,434	18.3	22.3
南 卡 罗 来 納		1,491	17.6	18.0
路 易 西 安 納		1,098	17.5	19.9
特 克 薩 斯		3,565	17.3	14.0
阿 拉 巴 馬		2,930	15.8	25.5
乔 治 亚		3,501	13.5	18.5

* 收获面积少于1百万英亩的州未列入表内。

Klages長时期的平均数表明,玉米地带每英亩产量一貫是最高的。在艾奥华、伊利諾、印第安納和俄亥俄等州,几乎全部都种植改良杂种品种。多数南部各州平均产量是低的。在特克薩斯州, Rogers 和 Collier (1952) 估計,大約有总面积的65%是种杂种玉米,其他南部州的百分数还低一些,杂种玉米改良的程度也較低。由于病虫害的损失要大一些。除上述原因以外,最重要的限制因素可能是缺少足够的水分。玉米是全季作物。虽然年降水量看来是高的,但在南部各州許多地区容易遭受有规律的严重干旱,致使产量受到限制。在南部,特别是在一些土壤好、水分足、施用肥料的地区,也能获得高产。

美国冬小麦的面积大約是春小麦的兩倍。一般來說,在兩种类型小麦都广泛种植的地区,冬小麦是較好的作物。这大概是因为冬小麦成熟得較早,能够利用秋季和冬季的降水,同时避免了夏季干旱的影响。小麦1939到1952年的資料如表2所示:

表2 小麦:收获面积、产量和产量变异性

1939—1952

州	別	面 积 (千英亩)	产 量 (蒲式尔/英亩)	变 异 系 数 (%)
冬 小 麦				
华 盛 頓		1,756	27.8	9.6
俄 勒 崗		715	25.9	12.4
紐 約		342	25.7	11.2
爱 达 荷		738	24.8	9.1
密 歇 根		1,003	24.3	11.4
俄 亥 俄		1,995	22.7	13.6
宾 夕 法 尼 亚		878	21.0	8.4
蒙 大 那		1,324	20.2	13.9
印 第 安 納		1,441	20.2	16.7
伊 利 諾		1,500	19.9	16.1
犹 他		249	19.4	12.9
內 布 拉 斯 加		3,401	18.5	24.5
科 罗 拉 多		1,796	18.2	24.1
堪 薩 斯		11,964	15.7	17.9
俄 克 拉 何 馬		5,168	13.5	21.6

州	別	面 积 (千英亩)	产量 (蒲式尔/英亩)	变 異 系 数 (%)
春小麦 (不包括硬粒小麦)				
犹 他	他	71	32.2	5.7
爱 达 荷	达 荷	418	30.7	5.4
俄 勒 岡	勒 岡	201	23.6	10.6
华 盛 頓	盛 頓	665	21.9	15.1
科 罗 拉 多	罗 拉 多	145	17.5	17.6
明 尼 苏 达	尼 苏 达	1,061	17.0	13.6
蒙 大 那	大 那	3,023	15.1	22.4
北 达 克 塔	达 克 塔	6,981	14.3	20.6
南 达 克 塔	达 克 塔	2,710	11.9	24.3

以州为單位，华盛顿州似乎比其他各州更接近最适宜的生态条件，虽然俄勒岡、紐約、爱达荷、密歇根和艾奥华等州的小麦产量也相当高。这些州的平均变異性，与內布拉斯加州和科罗拉多州比較，低得很多，而比堪薩斯州稍低一些。大部分春小麦是生長在明尼苏达、蒙大那、北达克塔和南达克塔等四个州。犹他州和爱达荷州栽培面积較少，而产量高，每年的变異性很低。在美国，这些地区接近春小麦的最适宜的生态条件。

苜蓿种子的生产資料如表 3 所示：

表 3 苜蓿种子：收获面积、产量和产量变異性
1943—1952

州	別	收获种子面积	产量 (磅/英亩)	变 異 系 数 (%)
华 盛 頓	盛 頓	9,470	309	68.5
加 利 福 尼 亞	利 福 尼 亞	46,700	265	32.2
阿 里 佐 納	里 佐 納	44,100	187	26.7
特 克 薩 斯	克 薩 斯	16,100	177	20.2
犹 他	他	46,000	148	36.6
爱 达 荷	达 荷	28,900	136	24.5
科 罗 拉 多	罗 拉 多	22,500	110	17.1
俄 克 拉 何 馬	克 拉 何 馬	95,000	107	12.2
蒙 大 那	大 那	80,800	85	19.9
堪 薩 斯	薩 斯	152,700	82	17.6
內 布 拉 斯 加	布 拉 斯 加	106,500	67	17.7
威 斯 康 辛	斯 康 辛	19,900	62	32.4
明 尼 苏 达	尼 苏 达	49,500	55	18.0
南 达 克 塔	达 克 塔	55,600	55	27.5
密 歇 根	歇 根	47,400	47	18.7
北 达 克 塔	达 克 塔	40,900	46	22.4
艾 奥 华	奥 华	8,010	45	18.5

从1943到1952年的每英亩平均产量表明，由东部到西部逐渐地但是明确地增加，这与玉米的产量形成鮮明的对比。在西部各州的資料，特别是华盛顿州和加利福尼亞州，上表所表明的情况是不适合的，因为在最后五年，收获面积和每英亩种子产量都增長得

很快。兩州現在的（1954）面积比报告中的增加一倍以上，每英亩的产量也有增加。中西部由于夏季降雨量多，尤其是开花时多阴雨、少光照，危害叶、芽、花和荚的病虫害多，傳粉昆虫不足。因此，苜蓿种子产量低。在西部气候好的条件下，用灌溉控制水分，噴撒药剂防治虫害，傳播花粉的昆虫亦多，收获的方法好，种子产量就增加很多。由于种植面积和生产措施的迅速变化，而产生了高的变異性，但是，如果根据五年的資料計算，其变異性是較低的。仅是从1947年开始，才广泛应用目前（1954）的这些措施。1946年，华盛顿州每英亩苜蓿种子平均产量是150磅，到1950年增加到540磅。Wallace (1920) 和 Fisher (1921) 注意到必須考虑長时期的产量趋势，而明显的离差可能打乱了在其他方面似乎是稳定的关系。

本試驗資料最大的缺点之一，是应用了州的平均数。各州的大小、地形和位置变化很大，而州界也不能代表生态学的区划。对改进这类研究工作提出兩点建議：第一是需要有更广泛的同时又是更精确的气象观察，包括有关植物气候或小气候的試驗資料；第二是产量資料应该根据生态学的構成單位为基础进行积累，而不是按州为基础来积累資料。虽然不可能直接这样做，但是也应该以郡为基础进行积累資料，然后，把气候和土壤条件相似的郡集合在一起，構成一个較大的單位，以研究其变異性及气候与产量的关系。

参 考 文 献

（略）

（摘譯自美国“Advances in Agronomy” 1954年6卷 Crop Adaptation and Climate 240—246 頁）

伊利諾州沃尔班納南农場降水、 溫度与玉米产量的关系

E.C.A.Runge 和 R.T.Odell

（美国伊利諾州大学）

本世紀以来，对玉米产量与兩個气候变数——溫度和降水的关系做了許多研究。在过去，玉米产量与降水量和溫度关系的研究中，变数的数目受到产量和气候記錄長度、缺少其他处理的变数、气象站远离試驗地，以及統計設計或計算設備等方面的限制。

正确地表示玉米产量和气候变数的关系是有困难的。假定土壤肥力和植株密度等条件都适当，玉米产量显著地受溫度和降水量的影响。然而，与植物生理过程有关的各种

气候因素及其影响时间的相互作用的数学方程式非常复杂。

所研究的气候变数可能是整个生长季节的或每月、每周、每日或其他时间的总降水量和平均温度。但是，如果把生长季节细分成小的时段，则观测自变数的高度划分，使确定回归系数显著性有困难。应用 Fisher⁽⁵⁾ 的多项式技术，能把生长季节按需要分成若干时段，而在复相关方程式中不增加自变数的数目。本研究应用了 Hendricks 和 Scholl⁽⁶⁾ 对 Fisher 法修正的方法，Hendricks 和 Scholl 未采用 Fisher 所用的正交多项式。

根据 Rust 和 Odell⁽⁹⁾ 的结果，本研究在管理差异最小的情况下，研究气候对玉米产量的影响。目的是：1. 测定玉米产量与气候因素如生长季节的降水量和最高温度之间的关系；2. 研究生长季节全长和分段时期每个气候因素不同类型的数学函数的效果，以说明玉米产量的变异性。这样做是为了测定生长季节全长和分段时期降水量和温度资料的最简单的数学函数和最适宜的趋势，这将更有效地说明一年和另外一年玉米产量的变异，这些方法用于未来的玉米生产力研究，能够非常有效地测量出气候的效应，从而将管理及其他因素对玉米产量的影响也能很准确的测定出来。

文 献 綜 述

多年来，有效降水量、温度和产量资料以及分析这些资料的方法，已经有了稳定的进展。

Smith⁽¹⁰⁾ 指出，7、8 和 9 月的总降水量与伊利诺、印第安纳、艾奥华、堪萨斯、肯塔基和内布拉斯加等州的玉米每英亩产量的关系。1914 年 Smith⁽¹¹⁾ 指出，7 月中旬到 8 月中旬的降水量对决定玉米作物的成败来说是最重要的。他断言，仔细研究 8 月 10 日以前的气候条件就可能得到玉米近似的估计产量。

1916 年的一份报告⁽¹²⁾ 中指出，“8 月上旬的降水量对决定玉米的概产是非常重要的因素。”另外一份报告⁽¹²⁾ 认为，“伊利诺、印第安纳、艾奥华和密苏里等州所以成为杰出的玉米产州，是与 7 月份降水量有密切联系的。”

Fisher⁽⁵⁾ 发展了一种方法，把生长季节按需要分为若干时段而没有使复相关方程式过于复杂。这样划分使所研究的气候变数的时间识别 (time identification) 成为可能。

Davis 和 Pallesen⁽⁴⁾ 应用 Fisher 的技术，发现“……虽然季节的总降水量与产量不是显著相关，但季节降水量的分布与产量是相关的。”根据俄亥俄州 Wooster 地区连续栽种玉米的产量表明，在生长季节初期（大约是 5 月 13 日到 6 月 11 日）的降水量超过适宜降水量，在生长季节后期（大约是 6 月 11 日到 8 月 21 日）的降水量少于适宜的降水量。平均播种期是 5 月 13 日，平均吐丝期是 7 月 31 日。

Davis 和 Harrell⁽³⁾ 继续了 Davis 和 Pallesen 的观察，研究温度降水量对玉米地带的玉米产量的影响，发现在伊利诺州和中部玉米地带的其他地区，当 7 月和 8 月的最高温度较常年低，降水量较常年高时，则玉米产量高于常年。

Hendricks 和 Scholl⁽⁶⁾ 研究印第安纳、艾奥华和俄亥俄等州的玉米产量估计值，

認為“根据周气象資料不能比月的資料更精确地預示玉米的产量。”但是，根据周气象資料的分析能够更准确地測定气候因素效应的季节变異。

Rust 和 Odell⁽⁹⁾ 断言，“产量变異与气候因素的关系比其他因素更为密切。”其他因素包括管理因素，如施用氮、磷、鉀的数量、輪作制度和時間。

材 料 和 方 法

玉米产量和气象資料：应用伊利諾州沃尔班納南农場的北中部輪作区的玉米产量資料。試驗区的輪作是玉米、玉米、燕麦和紅三叶草。試驗区从1903年建立以来連續种植作物，本研究仅用第一年的玉米产量。

1903年以来，輪作中应用的土壤处理是前作物殘株和磷酸石。于1946年又加施石灰石。在施入作物殘株及磷酸石处理的小区，不能測定出由于施用石灰石而增加的玉米产量。但是，1946年以来，因作物殘株和石灰石而使玉米增加的产量，比仅用作物殘株处理的每英亩平均高 7.3 蒲式尔。1946年以后，对作物殘株、磷酸石和石灰石处理的杂种玉米产量，除玉米产量反映向上趋势者外，沒有做校正。研究地区的四种土壤类型是 Catlin 粉壤土、Flanagan 粉壤土、Sidell 粉壤土和 Drummer 粉粘壤土。

气象資料是来自伊利諾大学校園內的伊利諾州沃尔班納气象站，該站在試驗地以北 $1\frac{1}{2}$ 英里。在 IBM 穿孔卡片上記錄日最高溫度和日降雨量。

杂种玉米产量和自由授粉玉米产量間的关系：1903—1939 年栽种自由授粉玉米，1940—1956 年栽种杂种玉米。为研究整个时期的玉米产量，必須把两种玉米产量換算成可比較的基础。（1）先确定伊利諾州玉米特性試驗中的自由授粉玉米和杂种玉米产量間的关系；（2）然后应用这些关系把自由授粉的玉米产量換算成与杂种玉米产量的等量。

1934—1941 年，在伊利諾州的玉米特性試驗中栽种自由授粉玉米品种和杂种玉米⁽⁷⁾。計算在伊利諾州中部選擇的三个玉米特性試驗地的每个地方和三个地方混合的杂种玉米对自由授粉玉米的迴归。每个迴归均为 1% 的显著平准。Barger 和 Thom⁽¹⁾ 发现艾奥华州的杂种玉米和自由授粉玉米产量間也具有同样的关系。然后对迴归进行測定，看每个地方的迴归是否与三个地方混合的迴归不同，但无显著差異。

应用混合方程式 $\hat{Y} = 11.139 + 1.0594X$ $r^2 = 96.7\%$ ，將 1903—1939 年在北中部輪作区的自由授粉玉米产量校正为杂种玉米的等量值。本研究是应用 1903—1939 年自由授粉玉米产量的杂种玉米产量等量值和 1940—1956 年杂种玉米的实际产量。

1903—1956 年玉米产量的趋势：1903—1956 年，第一年的玉米产量具有上升趋势（图 1）。玉米产量的上升趋势可能由于一个或几个原因，例如，采用改良的品种，栽培措施的改进，1946 年試驗小区增施石灰石，也可能是天气循环。去掉上述趋势以避免产量趋势与不同气候变数間的假相关。

播种期与花开期 (Anthesis) 間的关系：1903—1956 年，玉米播种期的变化幅度是从 5 月 1 日到 6 月 8 日。根据前人的研究，与玉米产量有关的降水量和日最高溫度的临界期分別在花开期及接近花开期。因此，需要計算播种到花开日期，以使所研究的时

期与玉米发育阶段有稳定的关系。

Leng^①在研究自交和杂种玉米的雄蕊发育試驗中发现，雄蕊分化以前比雄蕊分化到花开期更易变化，从播种到雄蕊分化时期与度日有关，从雄蕊分化到花开期差不多是稳定的日数。确定开始累积度日的基本温度，需要发育速度曲线。Leng^①把从播种到雄蕊分化的日数分为100，得出每天的从播种到雄蕊分化时期的百分数（图2）。当Y等于0，在直线回归方程式中求X，得到发育停止时的平均最高温度。结果是以56°F为基本温度，从56°F开始累积所需要的总度日数。计算发育速度曲线的资料适合于自交玉米，并受到75—95°F之间的日最高温度平均数限制（曲线必须达到最高然后在更高温度下迅速下降，在较低温度下逐渐下降到零），但结果对本分析仍然是适宜的。

应用Leng的资料，发现从5月初到5月末，四个标准玉米杂种，从播种到雄蕊分化累积日数平均为612。从雄蕊分化到花开期平均为40天。从播种期计算花开期是用：（1）从播种期开始，累积56°F以上的最高温度数，直到612度日，指出到雄蕊分化的日数；（2）这个日数加40即是估计的花开期。用上述方法计算花开期做了三次核对，计算的花开期与观察的花开期相符合，不超过±3天。Leng的资料中，另外一个计算花开期的方法是，从播种日期开始累积56°F以上的最高温度的度数，一直累积到1839度日。

杂种玉米产量距趋势线高差与降水量和平均日最高温度间的复相关：把玉米生长季节最长的112天分成：（1）56个2一天期，（2）14个8一天期。112天由于去掉連續的8一天期而逐渐缩短，以测定生长季节期间长度对玉米产量变異性的影响。

根据下列数值计算其他数值：每个2或8一天期的降水总量用X表示，2或8一天期的平均最高温度用Y表示，降水量与温度的乘积（任何一个2或8一天期的降水总量分别乘以同期的平均最高温度），用XY表示。

关于产量、降水量和平均日最高温度之间的代数方程式的形式还不清楚。但可以假定四次多项式就足以表示这种关系。可能，一次、二次、三次、四次多项式对资料是适合的。

四次复相关方程式是：

$$D = A_0 + a_0 \left(\sum_{i=1}^n \bar{S} t_i^0 X_i \right) + a_1 \left(\sum_{i=1}^n \bar{S} t_i^1 X_i \right) + a_2 \left(\sum_{i=1}^n \bar{S} t_i^2 X_i \right) + a_3 \left(\sum_{i=1}^n \bar{S} t_i^3 X_i \right) + \\ + a_4 \left(\sum_{i=1}^n \bar{S} t_i^4 X_i \right) + b_0 \left(\sum_{i=1}^n \bar{S} t_i^0 Y_i \right) + b_1 \left(\sum_{i=1}^n \bar{S} t_i^1 Y_i \right) + b_2 \left(\sum_{i=1}^n \bar{S} t_i^2 Y_i \right) + \\ + b_3 \left(\sum_{i=1}^n \bar{S} t_i^3 Y_i \right) + b_4 \left(\sum_{i=1}^n \bar{S} t_i^4 Y_i \right) + C_0 \left(\sum_{i=1}^n \bar{S} t_i^0 X_i Y_i \right) + C_1 \left(\sum_{i=1}^n \bar{S} t_i^1 X_i Y_i \right) + \\ + C_2 \left(\sum_{i=1}^n \bar{S} t_i^2 X_i Y_i \right) + C_3 \left(\sum_{i=1}^n \bar{S} t_i^3 X_i Y_i \right) + C_4 \left(\sum_{i=1}^n \bar{S} t_i^4 X_i Y_i \right)$$

D等于玉米产量距趋势线的高差，S是总数，n是生长季节的2或8一天期的数目，

① 未出版的资料。

X 、 Y 和 XY 已如上述。“ t ”是整个时期 X 、 Y 和 XY 的时间識別。一次、二次和三次复相关方程式分別不包括四次复相关方程式中 2 或 8 一天期数“ t ”的高于本次的幂。

在“ t ”为常数时，应用与每个 2 或 8 一天期的平均最高溫度 Y 有关的玉米产量距趋势綫的离差 D 的偏导数，以获得在整个研究时期內，任何 2 或 8 一天期平均最高溫度提高或下降一度对玉米产量的效应。

在“ t ”为常数时，应用与每个 2 或 8 一天期的总降水量 X 有关的 D 的偏导数，以获得整个研究时期內，任何 2 或 8 一天期平均降水量增加或减少一时对玉米产量的效应。

本方法假定：（1）不論每个 2 或 8 一天期的平均最高溫度或总降水量在平均数以上或以下，一时降水量或一度最高溫度对玉米产量具有相同的效应；（2）总的效应直接与平均数以上或以下的最高溫度的度数或降水量时数成比例。

結 果 与 討 論

每年 5 月 12 日到 8 月 31 日 56 个 2 一天期的复相关：將 5 月 12 日到 8 月 31 日分为 56 个連續的 2 一天期。2 一天期的時間識別“ t ”在复相关方程式中的确定方法，例如：5 月 12 和 13 日“ t ”值为 1，5 月 14 和 15 日“ t ”值为 2，其余的 2 一天期依次增加数值，8 月 30 和 31 日的“ t ”值为 56。

一次、二次、三次和四次复相关方程式是适合的。四次方程式比一次、二次和三次复相关方程式能解釋說明更多的变異性。計算降水量和玉米产量，日最高溫度和玉米产量的两个不同的曲綫。应用 5 月 12 日至 8 月 31 日 112 天期間平均日最高溫度 82.65°F 为 Yt 和平均 2 一天期降水量 0.2345 吋为 Xt ，計算出的結果如图 3a 和 3b。应用 5 月 12 日—8 月 31 日每一单独 2 一天期的平均 2 一天期最高溫度为 Yt 和 2 一天期降水量为 Xt ，計算出的結果如图 4a 和 4b。图 4a 和 4b 所表現的关系最接近正确，因为 2 一天平均最高溫度和降水总量是其特定 2 一天期的平均值。平均数以下的每度最高溫度或每吋降水量的效应，均可在图 3a、3b、4a 和 4b 倒轉各自的曲綫中找到。图 5a、5b、6a、6b、7a 和 7b 里也可倒轉各自的曲綫以表示平均数以下每度最高溫度或每吋降水量对玉米产量的效应。生長季节初期，平均数以上的降水量高的正效应和平均数以上的最高溫度的负效应是一个适合于数学函数类型的函数。方程式可允許的最大弯曲度已用于曲綫中部，这能充分指出曲綫末端的位置。

每年玉米花开期前 37 个 2 一天期、花开期后 19 个 2 一天期的 56 个 2 一天期的复相关：將生長季节分成 56 个 2 一天期，37 个 2 一天期在花开期之前，19 个 2 一天期，在花开期之后。对玉米产量、降水量和最高溫度的关系进行分析。本分析除应用根据花开期所确定的可变开始期外，其余皆与每年 5 月 12 日为开始期所用的方法相同。

一至四次多項式进行測定，三次多項式比一次和二次多項式說明更多的变異性。四次多項式不适合，因为它超过限定，即它所包括的变数被某个另外变数高度限定。超过限定的多項式是不合适的。

三次多項式的多次限定系数是 50.14%。降水量和产量、最高溫度和产量的曲綫，

与图 5a、5b 的曲线相似。

每年有同样开始期的 8—天期的复相关：本节和下节讨论的都直接关系到本研究的第二个目的，间接与第一个目的有关。将 5 月 12 日至 8 月 31 日的 112 天分成 14 个连续的 8—天期，然后从每年留下的总时期去掉一个 8—天期，直到每年仅剩下一个 8—天期。从留下的总时期中去掉 8—天期的次序是，先从生长季节末去掉一个 8—天期，然后再从生长季节开始去掉一个 8—天期。继续应用这个方法直到每年包括的总时期内仅有一个 8—天期。

可能，一至四次复相关方程式是适合每年不同的总 8—天期中的每个 8—天期。复相关方程式的各个不同次的限定系数 (Coefficients of determination) R^2 和不同的每年总时期如图 8 所示。当每年总时期缩短了，杂种玉米产量距趋势线的离差对每个 8—天期的降水量和平均日最高温度间关系的复杂性减少了。发现变数 $\sum_{i=1}^n t_i^0 X_i Y_i$ 是被

变数 $\sum_{i=1}^n t_i^0 X_i$ 高度地限定。应用有和没有变数 $\sum_{i=1}^n t_i^0 X_i Y_i$ 的一至四次多项式来测定 (图 8)。限定系数因包括自变数 $\sum_{i=1}^n t_i^0 X_i Y_i$ ，很少增加到 20% 以上。

5 月 20 日至 8 月 23 日，12 个 8—天期，二次复相关方程式最大限定系数，58.01%。计算降水量和玉米产量、平均日最高温度和玉米产量关系的两个曲线。应用 5 月 20 日到 8 月 23 日 96 天期的 8—天平均最高温度 83.65°F 为 Yt 和平均 8—天降水量 0.9445 吋为 Xt ，计算出的曲线如图 5a 和 5b。应用 5 月 20 日到 8 月 23 日每个单独 8—天期的平均 8—天最高温度 Yt 和平均 8—天降水量 Xt ，计算出的曲线如图 6a 和 6b。图 6a 和 6b 表明 8—天期的关系最接近正确，因为 8—天平均最高温度和降水总量是用其特定的 8—天期的平均值。

每年可变开始期的 8—天期的复相关：将 112 天 (花开期以前 74 天，花开期以后 38 天)，分成 14 个连续的 8—天期。112 天用上节叙述的去掉 8—天期的方法使之逐渐缩短。

一至四次复相关方程式对每年不同的总 8—天期的每个都适合。复相关方程式的各个不同次和不同每年总时期的限定系数如图 9 所示。

花开期以前 74 天、花开期以后 30 天的期间，13 个 8—天期，四次多项式最大限定系数为 66.92%。然而，花开期以前 50 天，花开期以后 14 天的期间，8 个 8—天期，二次多项式最大限定系数为 66.90%。用 8 个 8—天期的二次多项式比 13 个 8—天期的四次多项式简单，并能说明同样的变数。对可变开始期，较短的时期与二次多项式配合是最适宜的。配合二次多项式得到的自变数系数如表 1 所示。

应用花开期以前 50 天、花开期以后 14 天的单独 8—天期的平均最高温度 Yt 和 8—天降水量 Xt 计算平均日最高温度和玉米产量、降水量和玉米产量的关系曲线如 7a 和 7b。虽然，每个 8—天期不能在每年的同一日期出现，但是图 7a 和 7b 所表示的关系是有意义的，因为降水量在生长季节初期和后期常比中期高，而最高温度在生长季节初期和后期又常较中期低。

表 1 依变数系数的值, 每年具有可变开始期的 8 个 8—天期的配合二次复相关方程式的结果

降 水 量 系 数	最 高 温 度 系 数	降 水 量 与 温 度 积 系 数
$a_0 = -3.68481$	$b_0 = +0.5657532$	$c_0 = \text{不包括}$
$a_1 = +16.959296$	$b_1 = -0.23071762$	$c_1 = -0.17048116$
$a_2 = -4.4482210$	$b_2 = -0.003593899$	$c_2 = +0.049401225$

常数 $A_0 = +437.34$ 估计标准机誤 ± 8.7179 浦式尔; 多重限定系数 $= 66.90\%$, 1% 的显著平准。

表 2 根据每年固定和可变开始期的 9 个 8—天期的配合二次多项式, 趋势对多重限定系数 R^2 的效应

研究的时期和开始日	有趋势的 R^2	没有趋势的 R^2	趋势的净效应
	%	%	%
每年具有固定开始期的 9 个 8—天期 (5 月 28 日—8 月 7 日)	63.85**	54.99**	8.86
每年具有由花开期决定的可变开始期的 9 个 8—天期	72.18**	64.03**	8.15

** 1% 平准的显著相关。

玉米产量与 9 个 8—天期的降水量和平均日最高温度及年份^①間的复相关: 求出实际玉米产量、9 个 8—天期的降水量和平均日最高温度及年份之間的复相关, 来确定趋势或年份对多重限定系数的效应。趋势是以直线表示, 并包括在含有另外一个变数——年份的复相关方程式中 (图 1)。

当多重限定系数 R^2 接近最大时, 二次多项式对评价两种情况的趋势效应是适合的。求出每年相同开始期的 9 个 8—天期和每年由花开期决定的可变开始期的 9 个 8—天期。复相关方程式的趋势对 R^2 的效应如表 2。

玉米产量和趋势間的限定系数是 19.49% (图 1)。当趋势在玉米产量、降水量和最高温度的复相关方程式中做为一个自变数时, 与趋势有联系的净效应是 8.86% 和 8.15% (表 2)。19.49% 与 8.86% 和 8.15% 間的差異, 是由于某些气候变数与年份的相互相关而引起的。当没有趋势的多重限定系数小于 54.99% 时, 应将多于 8.86% 的趋势净效应加到多重限定系数上; 当没有趋势的多重限定系数大于 64.03% 时, 应将少于 8.15% 的趋势净效应加到多重限定系数上。

摘要和結論

本研究是为了测定: (1) 玉米产量、降水量和日最高温度間的关系; (2) 生長季节期間, 固定和可变开始期的時間長度, 以說明玉米产量变易性的最大量。本研究应用了 Hendricks 和 Scholl^[6] 所修正的 Fisher^[5] 的复相关方法。

在做玉米产量、降水量和最高温度的复相关以前, 需要进行另外一些預备試驗。

① 即指由于技术水平的提高而引起的年际产量的变化——譯者注。

1903—1939年自由授粉的玉米和1940—1956年的杂种玉米，要换算成等量基础。根据伊利诺州玉米特性试验中所测定的杂种和自由授粉玉米产量间的关系，把1903—1939年自由授粉的玉米产量换算成杂种玉米的等量。

1903—1939年杂种玉米的等量和1940—1956年杂种玉米产量中的上升趋势，用直线回归去掉，以避免趋势与分析的各种气候变数的任何假相关。杂种玉米产量距趋势线的离差用为复相关分析中的依变数。

(1) 每年生长季节的固定时期和(2) 每年在花开期前后恒定天数的可变时期，分别进行复相关分析。

将112天分成56个2一天期，一个是每年固定开始期，一个是每年可变开始期，研究玉米产量、降水量和最高温度间的关系。一次、二次、三次和四次多项式可能适合固定和可变开始期的112天。这些研究指出：花开期以前，降水量对玉米产量的影响最显著，花开时期，最高温度对玉米产量的影响最显著。最高温度对玉米产量的明显效应，可能与水分效应有显著的相关，因为高温常与低降水量有联系，反过来低温与高降水量有联系。

将112天分成14个8一天期，然后从总时期中去掉连续的8一天期，逐渐缩短所研究的日期长度。每个研究时期长度用一至四次多项式来测定。应用二次多项式说明变异性最大量(58.01%)的每年固定开始时期是96一天期(5月20日—8月23日)。应用四次多项式说明变异性最大量(66.92%)的可变开始期是104一天期(花开期以前74天，花开期以后30天)。但是，64一天期(花开期以前50天，花开期以后14天)应用二次多项式说明玉米产量变异性的66.90%。这证明玉米产量在花开期以前和花开期比生长季节其他时期更多地直接受气候条件的影响。

在复相关分析中，包括自变数——年份，得到趋势的净效应。用得到趋势效应的依变数是每年杂种玉米产量等量值或实际杂种玉米产量。在复相关分析中，包括趋势的净效应大约是8%。趋势提高了应用二次多项式可变开始期(花开期以前50天，花开期以后14天)的玉米产量变异性，大约75%。

本研究证明，大约在花开期一个月以前和花开期，水分超过正常降水量是特别有利的。应该研究这一时期水分缺乏的频率和数量，以做为确定对玉米进行灌溉的经济的基础。

参 考 文 献

- [1] Barger, G. L. 等 在艾奥华州叙述干旱强度的方法。Agron. Jour. 41: 13—19, 1949.
- [2] 生长的临界期。美国农业部气象局。Nat'l Weather and Crop Bul. 22: 2—3 (Series 1916).
- [3] Davis, F. E. 等 气候及其分配与玉米产量的关系。美国农业部技术通报。806. 1942.
- [4] Davis, F. E. 等 生长季节的降水和蒸发的总量及分配对玉米和春小麦

- 产量的影响。Jour. Agr. Res. 60: 1—23, 1940.
- [5] Fisher, R. A. 在 Rothamsted, 降水对小麦产量的影响。Roy. Soc. (London) Phil. Trans. Ser. B., 213: 89—142. 1924.
- [6] Hendricks, W. A. 等 测量联合关系的技术: 温度和降水量对玉米产量的联合的效应。北卡罗来纳州农业试验站技术通报 74, 1943.
- [7] 伊利诺州玉米特性试验结果。伊利诺州农业试验站通报 411、427、429、440、450、463、474 和 482.
- [8] Leng, E. R. 在自交和杂种玉米的雄蕊发育中的时间关系。Agron. Jour. 43: 445—449. 1951.
- [9] Rust, R. H. 等 应用评价某些伊利诺州土壤生产力的方法。Soil sci. Soc. of Amer. Proc. 21: 171—175. 1957.
- [10] Smith, J. W. 降水量对玉米产量的关系。U S D A Yearbook 1903: 215—224.
- [11] Smith, J. W. 气候对玉米产量的效应。U. S. Mo. Weather Rev. 42: 78—87. 1914.
- [12] 四个最大的玉米州。U S D A Weather Bur. Nat'l Weather and crop Bul. 15: 2 和 7 (Series 1916).

(译自美国 "Agronomy Journal" 1958年, 50卷8期, 448—454页)

伊利诺州沃尔班纳南农场降水、 温度与大豆产量的关系

E.C.A.Runge 和 R.T.Odell

(美国伊利诺州大学)

大豆产量、降水量和日最高温度间关系的研究, 与以前玉米的研究报告相似⁽⁵⁾。应用的技术方法也和玉米研究相似。故本文中除与玉米研究不同者外, 不另作说明。文献中没有报导过大豆产量和两个气候变数间的复相关研究。本研究目的是: (1) 测定大豆产量与气候因素, 如生长季节的降水量和最高温度间的关系; (2) 研究生长季节全长和分段时期每个气候因素不同类型数学函数的效果, 以说明大豆产量的变异性。这样做是为了测定生长季节全长和分段时期降水量和温度资料的最简单的数学函数和最适宜的趋势, 这将更有效地说明一年和另外一年大豆产量的变異。

材 料 和 方 法

大豆产量和气象资料: 本研究应用的大豆产量资料是来自伊利诺州沃尔班南农场南中部轮作区。从1907年以来,是玉米、玉米、玉米和大豆的轮作。每种作物每年在轮作中都栽种,本研究没有用1907和1903年的产量,因为这两年应用的品种不能与以后所用的相比。

轮作中应用的土壤处理是磷酸石和1907年以来的前作物残株。1946年开始又加施石灰石。本区土壤是以 Flanagan 粉壤土为主。

气象资料与玉米研究中所用的一样⁽⁵⁾。

1909—1957年大豆产量趋势: 从1909年到1957年,大豆产量是高度显著的上升趋势(图10)。但大多数上升趋势是由于品种的改变,从1909到1925年栽种的 Ebony 品种稍有向上的趋势。1926—1949年栽种的 Illini 品种稍有下降的趋势。1950—1957年栽种的 Hawkeye 品种具有上升的趋势。然而, Hawkeye 品种向上的趋势大部分是由于气候条件的差异,应用更多年份的资料,上升的趋势就可能消失了。三个品种的趋势在统计学上不显著。

应用计算1909—1957年全部时期和每一个品种大豆产量和年份之间的直线回归来测定趋势(图10)。去掉上述趋势以避免产量趋势与气候变数间的假相关。从依变数趋势测定产量离差中,用混合趋势代替三个品种趋势。

相关分析: 大豆产量与降水量和最高温度的复相关,是应用玉米研究中所用的方法⁽⁵⁾。把大豆生长季节最长的112天(6月1日至9月20日)分成14个8一天期,112天由于去掉连续的8一天期而逐渐缩短,以测定生长季节期间量度对大豆产量变异性的影响。

根据下列数值计算其他数值:每个8一天期降水总量用 X 表示,8一天期的日最高温度用 Y 表示,降水量与温度的乘积(任何8一天期的降水总量分别乘以同期的日最高温度)用 XY 表示。

关于产量、降水量和平均日最高温度之间的代数方程式的形式还不清楚。但可以假定四次多项式就足以表示这种关系。一次、二次、三次和四次多项式对资料是适合的。本研究应用了与玉米研究同一类型的复相关方程式^(5,p.450)。 D 等于大豆产量距适当品种趋势线的离差, n 是生长季节的8一天期的数目,“ t ”是所研究的整个时期 X 、 Y 和 XY 的时间识别。

本分析假定:8一天期的平均数以下的每时降水量或每度最高温度,与平均数以上的每时降水量或每度最高温度,可能对大豆产量有相反的效应。进一步假定,总的效应可能直接与平均数以上或以下的最高温度数或降水量时数成比例的。