

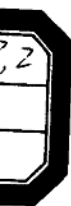
国外农业科技交流资料

小麦条锈病及其它病害研究

美国蒙太拿州大学夏普教授主讲

农牧渔业部科技司
中国农业科学院植保所

一九八三年三月



应我部邀请,美国
1982年6月15日到28
护研究所举办了全国小
十讲即引言和概论;环
菌的抗性和生理专化;
非专化性抗性;大麦叶
抗病育种中的利用。这
用。

为更深入弄清夏普
术性的问题。在陕西、
育种工作者能亲自听到

这次讲习班特邀农
保所何家泌先生指导工

记录并整理的有王
武、李艳芳等同志,退
志,并经陈善铭先生审

为了加深、扩大夏
康等专家、教授,并组
附在后面,供参考。

讲解期间洪锡午、
对组织和参加这一
处,请批评指正。

目 录

夏普讲解内容

1. 第一章 引言及概论	(1)
2. 第二章 环境条件对条锈菌侵染过程的影响	(3)
3. 第三章 小麦条锈病的研究设备	(11)
4. 第四章 小麦条锈病菌的抗性和生理专化	(13)
5. 第五章 野生二粒小麦抗性微效基因	(30)
6. 第六章 病原菌变异的几个原因	(33)
7. 第七章 专化性抗性 & 非专化性抗性	(40)
8. 第八章 大麦叶锈病	(42)
9. 第九章 常见的大麦病害	(46)
10. 第十章 大麦应用轮回选择获得广泛基础的抗性	(51)
11. 第十一章 引进种在抗病育种中的利用	(56)

夏普著作译文

1. 接种前寄主温度对条锈病菌侵染禾谷类幼苗的影响	夏普	(61)
2. 蒙太拿州冬小麦上条锈菌的越冬	夏普 海恩	(62)
3. 侵入前后环境和小麦条锈病的发生	夏普	(64)
4. 空气中离子与条锈菌夏孢子的萌发	夏普	(71)
5. 小麦对条锈菌抗性的主效和微效基因及其对温度变化的反应	勒忽伦 夏普 海伦	(73)
6. 小麦微效反应基因在两种温度水平下对条锈菌的抗性遗传	勒忽伦 夏普	(83)
7. 小麦条锈菌混合菌系中不同病菌类型的相对存活力	布朗 夏普	(89)
8. 小麦累加基因对抗条锈性的控制作用	夏普 沃林	(95)
9. 条锈菌生理专化和病原菌侵袭力	沃林 夏普	(96)
10. 累加基因的结合与冬小麦抗条锈病性的关系	夏普 萨利 泰勒	(101)
11. 几个大麦栽培品种对云纹病和网斑病抗性基因的三体分析	沃克曼 夏普	(105)
12. 小麦的条锈病累加抗性	克鲁平斯基 夏普	(113)
13. 进行再选择提高小麦对条锈病的抗性	克鲁平斯基 夏普	(117)
14. 小麦累加基因对条锈菌的抗性	夏普 弗克斯	(125)
夏普主要著作目录		(132)

夏 普 讲 解 内 容

第一章 引言及概论

一、条锈病的发生历史和分布：

美国小麦条锈病的最早记述见于 1900 年左右在亚利桑那州。这一病害主要分布于太平洋沿岸的西北部地区，包括华盛顿州，俄勒冈州，爱达荷州，蒙太拿州和犹他州。美国中西部大平原也偶有发生。另外，得克萨斯州和俄克拉荷马州的小麦生长前期也能发现条锈病，但到生长后期，因气温增高对病菌生长不利，病害就逐渐消失了。由于小麦条锈病喜冷凉耐低温，所以在美国西北部的山区河谷地带以及沿海地区比较常见。这些地区即使在仲夏季节最低气温也不超过 15°C ，适于条锈病的发生发展。等到温度高于 15°C 时，小麦也快成熟了。

二、条锈病的发生消长：

1930 年以后，条锈病发生一度比较严重。当时人们发现了条锈菌的许多生理小种和其对应的抗病品种。随后一段时间里，条锈病为害又逐渐减轻而成为一种次要病害，每年出现，但损失不很严重。50 年代末和 60 年代条锈病曾在美国西北部地区再度流行，主要原因是当时田间栽培品种过份单一。例如，1963 年美国西北部地区种植的密穗小麦品种(Omar)，占了当地品种组成的 34%。当时造成条锈病流行的几个因素都具备了：感病品种；大量的接种物——菌源；适宜的气候条件；冬季温暖或有积雪覆盖，使带有潜伏菌丝的小麦幼苗得以安全过冬。

三、条锈病为害部位和发生特点：

条锈病可以为害小麦叶片、叶鞘，条件特别适宜时还能侵染穗部，为害外颖，稃，甚至籽粒。有些品种只在叶子和叶鞘上感染，而穗部不感染；还有一些品种在叶子和叶鞘上中部感染，但在穗部感染严重。

条锈菌在有光照的白天可以忍受较高的温度，但黑暗的夜间温度超过 15°C 时则对病菌生长不利。

同小麦条锈病要求类似冷凉气候条件的病害，在美国还有小麦矮腥黑穗病，小麦雪腐病和一种头端孢菌引起的条斑病。

四、条锈病的越冬和越夏：

在美国太平洋西北部地区，小麦条锈菌可以在积雪覆盖下以潜伏菌丝在麦苗叶内存活好几个月。例如，在蒙太拿州的西部地区，从 11 月份到翌年 3 月份地里都有积雪覆盖，畜栏附近和山地北坡积雪时间更长。在长达半年的时间里均可找到长有潜伏菌丝的病叶。拨开积

雪，采回表面上看来健康的麦叶，在白天温度 25℃，夜晚 15℃ 的控制条件下，经过 14 天，叶片上就能长出夏孢子。试验发现，那里病害的潜育期约自头一年的 11 月 20 日到第二年 4 月 12 日。条锈菌在这段时间内以潜伏菌丝形式在覆雪下越冬，待积雪融化，田间温度达到 10℃ 时，又开始长出新的孢子堆。

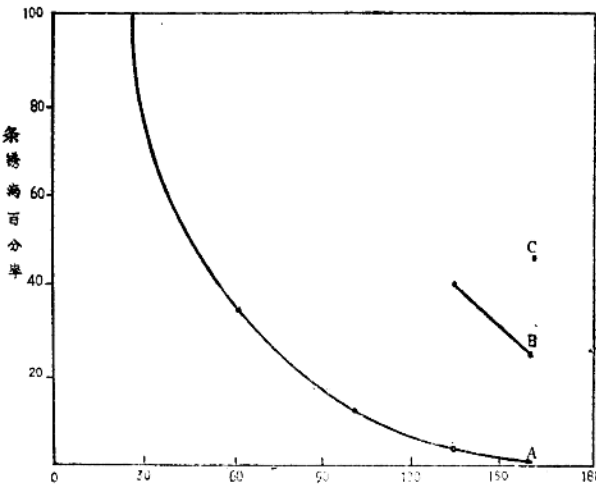


图 1 在不同的越冬期后条锈菌侵染冬小麦植株的百分率
地块 A, B, 和 C 越冬期为 11 月 5 日—4 月 12 日。

从图 1 可知，11 月份时，田间所有植株都感染了条锈病，60 天后，30% 植株上仍有潜伏菌丝，100 天左右低到 10—15%，150 天后只剩下 2%。说明随着时间推移，条锈菌潜伏菌丝的存活率越来越低。另外，100 天后 A 地潜伏菌丝存活比例很低，而 B、C 两地存活比例较高，原因在于：第一，后两块地积雪覆盖较厚。第二，A 地种植的是中度感染的品种，B、C 两地是高度感染的品种。然而，尽管 A 地越冬潜伏菌丝存活率很低，一旦春季积雪融化，气候条件适宜，仍可能形成发病中心而引起条锈病的流行。

如果夜晚温度低于 15℃ 的话，白天气温高达 30℃，病菌仍能存活。因此，美国北部地区条锈病菌能在晚熟春麦和自生麦苗上越冬。较南一些地区，如加利福尼亚州北部，病菌能在高海拔处生长，也可能在杂草上越冬。已发现条锈菌可以感染冰草 (*Agropyrum repens*)。所以，在美国条锈病能在当地完成侵染循环，而不象秆锈病那样远距离传播。

五、条锈病与小麦产量损失：

有关条锈病对小麦产量影响的研究做过很多，表 1 列举了一些冬麦品种感染条锈病的试验结果。

表 1 侵染型和严重度与产量的关系

小麦品种	产量 (蒲式耳/英亩)		侵染型	严重度	产量损失 (%)
	无病 ^a	锈病 ^b			
Rego	70	58	0—3	40	17
Newturk	68	53	1	10	22
Cheyenne	74	53	1	15	28
Karmont	72	49	2	30	32
Itana	73	43	4	75	41
Westmont	72	34	4	85	53

a 产量为两年平均值。 b 产量为一年平均值。

从表 1 可以看出，在扬花期调查的不同品种间的侵染型与严重度同产量损失之间有密切的关系。Westmont 曾是蒙太拿的当家品种，因侵染型高，严重度高，产量损失率也很高，现在完全是个高感品种。Itana 是爱荷华州和蒙太拿州两州合作育成的品种，它也是一个高感品种，因条锈病为害产量损失也很高。另外，一些春麦品种感染锈病后产量损失可以高达 60—65%。

附带作一介绍，在比较不同品种的感病程度时，可以采用“感染系数”这种记载项目。这是把侵染型和严重度两者结合起来的一种记载方法。即把侵染型代之以数字，比如把 0 型反应型定为 0.2，4 型定为 1……，然后将此数字和相应的严重度相乘，其乘积就叫感染系数。例如： $1 \times 85 = 85$ ，即感染系数为 85； $0.2 \times 1.5 = 7.5$ ，即感染系数为 7.5，等等。墨西哥世界玉米小麦改良中心在世界许多地方都布置了试验病圃，他们采用感染系数作为比较标准，并规定：系数低于 10 的材料是好的，可以应用；大于 10 的是不好的，不宜应用。

六、其他：

1. 在美国，小麦条锈病可在大麦上发生，但和欧洲不同，美国没有发现条锈病菌对大麦的专化型。美国栽培大麦上的侵染型只有 1—2 型，严重度也不高。

2. 澳大利亚过去没有条锈病，最近一两年已经发现，新西兰去年也有报道。这两个国家相隔仅 400 英里，病菌传播是很容易的。

第二章 环境条件对条锈菌侵染过程的影响

一、侵染过程：

条锈菌的侵染过程包括三个阶段：侵入前，萌发和侵入。夏孢子萌发出芽管，不形成明显的附着胞，只在气孔附近芽管顶端略微膨大。芽管侵入气孔后，在气孔腔内形成胞囊。有的胞囊从一端长出侵染丝；有的从两端长出侵染丝。有的侵染丝有分隔；有的没有。这些特征可用来鉴定锈菌不同的种。侵染丝侵入寄主细胞后长出吸胞以摄取寄主营养，并很快分枝长出匍匐菌丝侵入更多的细胞。因此，从一个侵染点入侵的单个孢子，以后能产生许多孢子堆。最后布满整个叶片。在苗期，条锈菌侵入寄主后菌丝能向四面八方延伸。但在成株期，菌丝体因受叶脉限制只能纵向扩展，形成的孢子堆呈线条状，故称之为“条锈”。

二、接种前温度对条锈菌夏孢子萌发的影响：

接种前分别在 15℃ 和 24℃ 两种温度下培育 6 个小麦品种的幼苗，接种后在 7℃ 下使孢子萌发，结果见表 2。

试验结果表明，接种前在 24℃ 下培育的幼苗，比在 15℃ 下培育的幼苗的孢子萌发约低 2/3。虽然品种不同，但高温预处理引起萌发率的降低幅度是很近似的。其原因可能是高温下某些细菌在叶片上抑制了锈菌孢子的萌发。已经证明，土壤中的枯草杆菌 (*Bacillus Subtilis*) 具有这种抑制作用。

表2 接种前温度对寄主叶片上夏孢子萌发的影响

小麦品种	总的孢子计数	发芽的孢子 24℃ *
		发芽的孢子 15℃
Itana	7300	0.66
Rego	7800	0.64
Idaed	7600	0.76
Westmont	3300	0.75
Omar	2000	0.62
Columbia	1700	0.52

* 24℃和15℃都是接种前植株生长的温度。萌发时的温度是7℃。

三、温度对夏孢子萌发和侵入的影响：

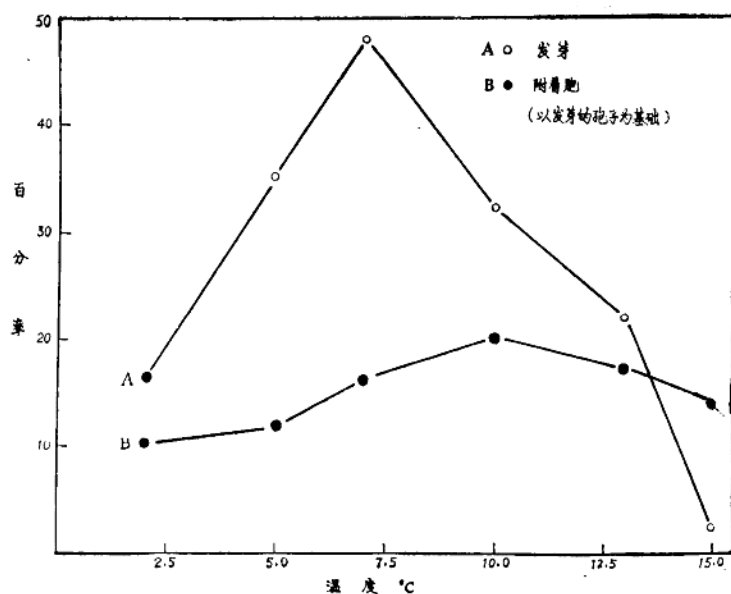


图2 保湿24小时期间温度对夏孢子发芽和附着胞形成的影响(Lemhi小麦)

图2表明,夏孢子萌发的最低温度是2—3℃,最适温度在7℃左右,最高温度是15℃。对于不同的生理小种温度的影响也不同,情况如图3所示:

b小种在15℃下萌发率很低,到20℃就不萌发了。c小种是一个白化的小种,它在不同温度下的萌发率都比较低,到20℃也不萌发。a小种比较特殊,它的孢子萌发率较高,即使温度达到20℃,它仍有20%的萌发率。

在不同温度下保湿24小时,小麦条锈病的普遍率和严重度也有差异。7℃左右普遍率和严重度最高,15℃均剧烈下降。因此,15℃这一界限看来对条锈病的发生发展十分关键。详见图4:

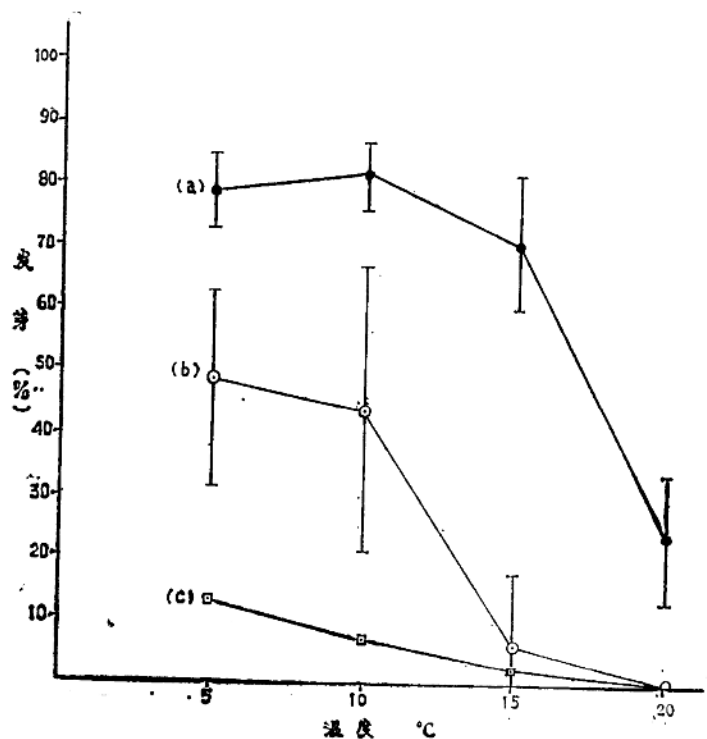


图3 代表不同的条锈菌小种的夏孢子在四种温度下的发芽能力 (a)小种6和8, (b)小种1和2 (BF-H), 2 (CC-I(00)Mc), 3, 4, 5, 9, 10(Mo-B), 10(Ms1-We), 11和(C)3A, 垂直线表示各平均值的有关发芽百分率的范围。

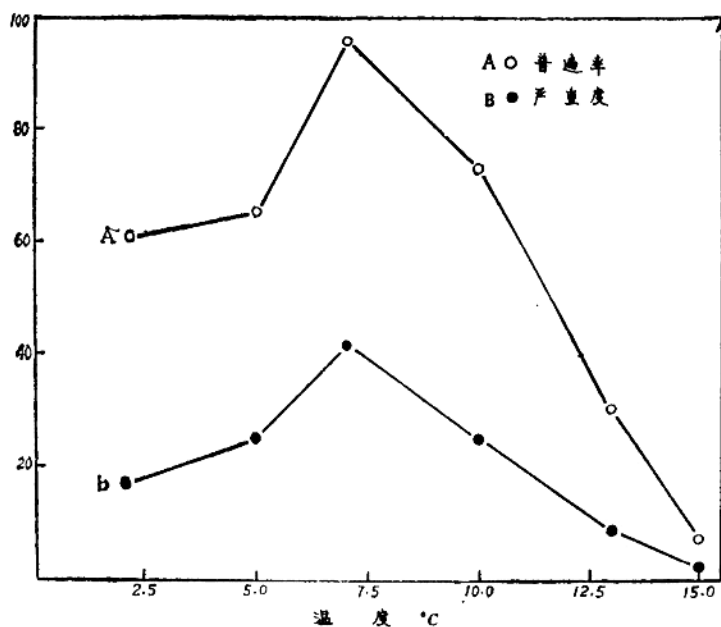


图4 保湿24小时期间温度对侵染的普遍率和严重度的影响(Lemhi小麦)

四、影响孢子萌发的其它因素：

过去发现条锈病菌在蒙太拿州冬季条件下萌发率很低，但将这些孢子用真空冷冻方法保存多年萌发率仍可高达75%，说明实际上它们具有萌发潜力。另外发现，采用同一方法保存的同一来源的菌种在严格控制温湿度的条件下，有时萌发率高，有时萌发率低。为了寻找原因，我们将采集来的菌种经真空冻干后，从6月份起每天做一次萌发试验，一直进行了两年。6月份的日照时间是15小时，9月份日照时间是12小时，这段时期内孢子萌发率一直保持在75%左右。但10月—11月份，萌发率逐渐降低。1月份的日照只有8—9小时，萌发率最低，甚至有几天孢子根本不萌发。3月份以后，随着日照时间的加长，萌发率又逐渐增高了。我们最初推想产生这种现象的原因在于某种与日照长短有关的“生物钟”效应，进而设计进行了多点孢子储存试验：第一个点设在蒙太拿州的布兹曼；第二个点设在阿拉斯加州的恩克瑞，该点接近北极圈，冬季只有4小时的光照；第三个点设在北极圈内的彭拜尔，冬季完全保持黑暗。结果发现，布兹曼在冬季低温风速的情况下，锈菌孢子萌发不好。在恩克瑞，低温低风速的条件下，发芽率也不好。不过总的来看，恩克瑞的萌发情况是时好时坏，并不稳定。萌发好的天数仍多于布兹曼。可是，彭拜尔点的情况完全出人意料，即使在温度低达 -40°C ，全天处于黑暗的情况下，不管风速大小，萌发率都很高。由于该点离北极试验站只有四英里，没有大气污染，从而进一步推测孢子萌发率的高低可能与空气中的离子状况有关。空气中的离子大小不等，大体上可分为三种，其直径分别为 10^{-1} — 10^{-2} ， 10^{-3} — 10^{-4} 和 10^{-5} — 10^{-6} 微米。各种离子都带有电荷，若带的是正电荷，就可以被带负电的带电板吸引。另外，小离子在电场中流动快，大离子流动慢，因此，根据这些原理，可以利用电子仪器和电子计算机搜集并测定空气中各种离子的大小和比例。空气中带电的大离子周围往往吸附了 CO_2 ，工业或民用燃烧生成的废气，汽车尾气等物质，形成大的“离子团”若空气中大离子或大离子团多，说明空气污染严重。反之，测得的小离子占了全部或大部就说明空气清洁。后来，在上述三点分别作了测定，结果表明：布兹曼和恩克瑞凡在低温，低风速的天气下，空气污染严重，空气中大离子比例占多数，导致条锈菌夏孢子萌发率降低。北极圈内监测到的空气离子都是小离子，空气没有污染，所以那里的孢子萌发率高。事实上，在蒙太拿州布兹曼，尤其是在山谷地区，冬季无风时，天空经常笼罩着一个暖空气层，使得污染的空气无法扩散。阿拉斯加恩克瑞冬天烧煤取暖，空气中的大离子相当多，因而都影响了夏孢子的萌发。上述三处虽都设了室内对照，但孢子萌发情况与室外没有差别，原因在于离子很小，无孔不入，即使室内也无法控制。此外，离子大小对侵染型也有影响，如果空气中大离子含量达到90%时，孢子萌发率可降到10%以下，侵染型也可以从感染型变为抵抗型，对温度敏感的品种更是这样。我们在试验中还发现，孢子萌发前的吸水状况很重要。因为接种用的孢子经过真空冷冻干燥保存后，含水量从处理前的15%左右降到2—3%，若要萌发的好，就要有一个吸水的过程。看来孢子吸水过程中的前30分钟很关键。这段时间内空气中离子的大小，对孢子发芽率影响很大：离子大，发芽率低；离子小，发芽率高。因此，吸水处理时可将盛有孢子粉的安瓿瓶，放在“小型离子发生器”内打碎，然后放入充满水分的海绵垫，使孢子吸水良好而提高萌发率。

总之，除了温度、湿度和光线外，还有其它因素影响孢子萌发。空气离子的大小，即空

气污染的程度十分重要。这一因素难以控制，也容易被人们所忽视。

五、不同时间不同温度对侵染型的影响：

1. 接种前后恒温条件对侵染型的影响

表 3 接种前后恒温条件对侵染型的影响

温 度	小 麦 品 种 和 侵 染 型			
(℃)	Lemhi	Westmont	Omar	Idaed
15	4	3,4	3,4	3,4
18	3,4	2,3	2,3	2,3
21	2,3	1,2	1,2	1,2
24	0,1	0,1	0	0

所有试验的接种都在 7℃ 下进行，接种后保湿 24 小时。若接种前后植株都在 15℃ 恒温下生长，所有品种都是感病的。温度升高后四个品种都有增强抗性的趋势，24℃ 恒温下所有四个品种都表现为抵抗。Westmont、Omar 和 Idaed 三个品种在 15℃—21℃ 下表现相似。Lemhi 则较为感病。24℃ 时，Omar 和 Idaed 完全无病，Lemhi 和 Westmont 侵染型为 0,1，还存在少许夏孢子堆。原因在于后两个品种都含有在 24℃ 下尚能产生 1 型病斑的微效基因。

实际上，温室恒温条件下的试验结果仍无法同自然条件下相比较，变温条件才更接近于实际。以下讨论变温条件下的一些实验结果。

2. 接种前后黑暗期温度对侵染型的影响

处理①接种前白天温度虽达 24℃，但黑夜温度仅 15℃，而接种后，日夜温度都是 15℃，结果四个品种都很感染。处理②，接种前温度保持 15℃，接种后白天温度 24℃，黑夜是 15℃，结果只 Idaed 为 2,3 型，其余都是感染型。处理③，接种前情况与处理①一致，接种后与处理②一致，结果各品种侵染型也与处理①和处理②很相近。处理④，接种前黑夜温度是 24℃，白天 15℃，接种后的白天黑夜均为 15℃，结果只 Omar 一个品种侵染型由 3,4 变为 1,2,3，其它 3 个品种都与处理②和③很近似，这也表明 Omar 品种含有微效基因。处理⑤，接种前温度均 15℃，接种后白天温度也是 15℃，但黑夜温度为 24℃，结果大不一样，侵染型都变成 0,1 或 0,1,2, 0,1,3。处理⑥，接种前和接种后黑夜温度都是 24℃，白天都是 15℃，结果侵染型都变成 0 或 0,1,2 型，可见接种前后黑暗时的温度对以后的侵染型有很大影响，其中特别以接种后黑暗期的温度更为关键；24℃ 的黑暗条件对各品种抵抗型的出现有直接的影响。

3. 不同温度变化对不同品种侵染型的影响

条锈病是美国西北部地区小麦生长上的主要问题。这里昼夜温差大，春天和秋天晚上温度常常接近 0℃，夏天白天温度高达 32℃ 而晚上温度仍接近 15℃。上表显示了模拟自然条件下几个品种上的侵染型。Idaed 是春小麦，其它四个是冬小麦。P.1.178383 和 Westmont 两个品种的侵染型随温度变化而变化，前者可能含有抗锈的主效基因，后者含有感锈的主效基因。Rego 随温度上升侵染型由抗变感，可能含有对低温敏感的微效基因。

表 4 接种前后黑暗期温度对侵染型的影响

温 度*	小 麦 品 种 和 侵 染 型			
	Lemhi	Westmont	Omar	Idaed
① $\frac{D_{15}L_{24}}{DL_{15}}$	4	3,4	3,4	2,3,4
② $\frac{DL_{15}}{D_{15}L_{24}}$	4	3,4	3,4	2,3
③ $\frac{D_{15}L_{24}}{D_{15}L_{24}}$	3,4	3,4	3,4	2,3
④ $\frac{D_{24}L_{15}}{DL_{15}}$	4	3	1,2,3	2,3
⑤ $\frac{DL_{15}}{D_{24}L_{15}}$	0,1,2	0,1,2	0,1,3	0,1
⑥ $\frac{D_{24}L_{15}}{D_{24}L_{15}}$	0,1,2	0,1,2	0	0

* D₁: 每天 12 小时黑暗期L₁: 每天 12 小时光照期

线上数字代表接种前, 线下数字代表接种后在 7°C 下接种保湿 24 小时

表 5 不同温度变化对侵染型的影响

处理(°C)*	小 麦 品 种 和 侵 染 型				
	P.I.178383	Westmont	Turkey-1	Rego	Idaed
D_2L_{18}	00	3,4	3	0	4
$D_{15}L_{24}$	00	3,4	1,2	3	2,3
$D_{15}L_{32}$	00	3,4	0,1	3	0,1,2

* 接种前和接种后的每天中, D = 9 小时黑暗期, L = 15 小时光照期。在 7°C 下接种保湿 24 小时。

4. 其它一些品种对温度的反应:

从表 6 看出, Chartres Desprez、Alba 和 Poncheau 在低温下较感染, 在高温下较抵抗, 而 G-78303 和 Hector 在低温下较抵抗, 高温下较感染, Hansa、Little Joss、Navarro 和 Cappelle 低温下和高温下感病反应变化不大, 比较稳定。

综上所述, 接种前后温度变化对侵染型都有影响, 但尤以接种后黑暗条件下的温度更为重要。品种之间对温度变化反应有明显差异: 许多品种在高温下趋于抵抗, 低温下趋于感染, 部分品种情况相反。

表6 寄主在 2/18℃(低温)和 15/25℃(高温)下对条锈菌小种 KH-Ar 的反应型

寄 主 品 种	低 温	高 温
Gentil Rooso	3	2
Cappelle	0	1
Chartres Desprez	3	1 ⁻
G-78303	1	3
Hansa	3	3 ⁻
H ₁₅ P.L. 83346	0	2
Hector	1	3
Heines V11x ⁶ Redmond	3	2
Little Joss	4	3 ⁻
Navarro	4	3 ⁻
Professeur Journee	2	3
R.I.C.P.L. 83388	3	2
Poncheau	2	0
Epidor	0	2
Alba	3 ⁻	1

六、小麦秆锈菌的侵染过程

1. 小麦秆锈菌夏孢子的萌发率:

图5表明,新鲜的小麦秆锈菌夏孢子在 15—24℃ 的温度下经 2 小时孢子萌发率最高;温度升为 27℃ 时,萌发率则降低到 50%;温度继续升高到 30℃ 时,萌发率仅为 10%。此时,即便延长萌发时间,萌发率也不再增加。

2. 小麦秆锈菌附着胞的形成

如图6所示,孢子萌发后附着胞的形成直接受温度的影响: 15—27℃ 的温度下萌发 6 小时,

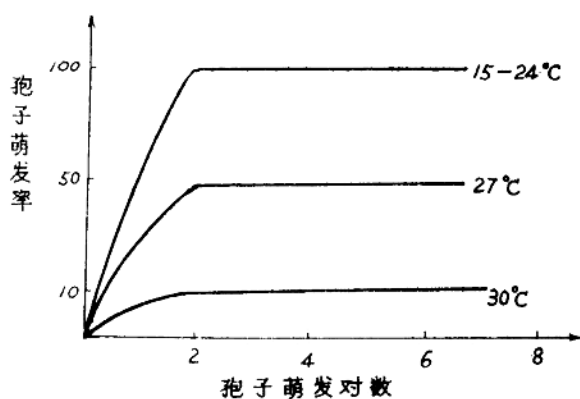


图5 小麦秆锈菌夏孢子在三种不同温度下的萌发率

50%的孢子可形成附着胞。孢子在萌发期间，由于受到角质层分泌的化学物质的影响往往不是直向而是横向生长，这样可以遇到更多的气孔而利于入侵。

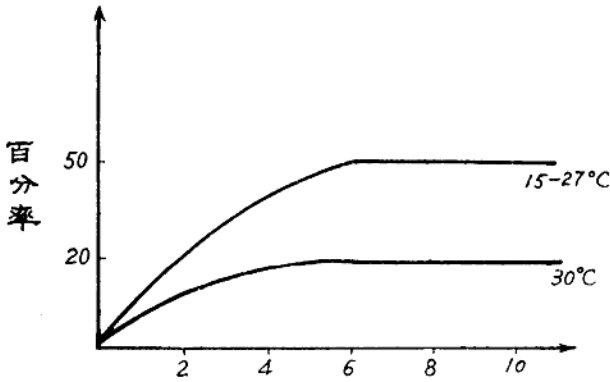


图6 小麦杆锈菌夏孢子的侵染率：在两种温度下附着胞的形成

3. 小麦杆锈菌夏孢子的侵染率

图7表明，25℃黑暗条件下萌发的孢子侵染率很高，温度下降为20℃时，侵染率仅为最高侵染率的一半。温度继续下降到15℃时侵染率更低。如果温度升高为30℃时，侵染率为15—20%，温度继续升高到35℃则停止侵染。

4. 关于小麦杆锈病菌侵染的两个阶段

小麦杆锈病的侵染过程可分为两个阶段，见图8。接种后，形成附着胞最有利的条件是在15℃下黑暗中保湿9小时，这是侵染的第一个阶段。这时能形成大量的附着胞，但很少侵入寄主。以后把幼苗移到不同的湿度下再继续萌发一小时，其中以30℃的侵入率最高，25℃为最高侵入率的一半，20℃的侵入率减少，15℃更少，到35℃则不侵入。

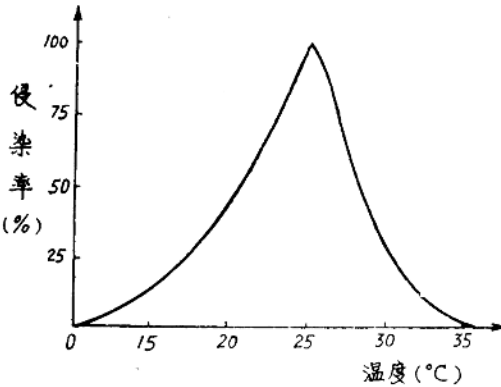


图7 小麦杆锈菌夏孢子侵染率与温度高低的关系

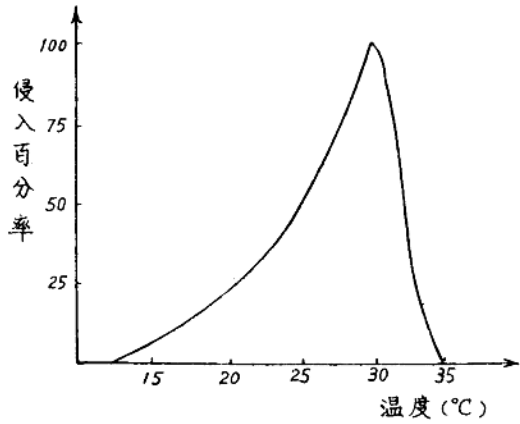


图8 小麦杆锈菌不同温度下侵入百分率

5. 小麦杆锈病菌夏孢子侵入的预测：

$$\text{预测式：} I_v = (T - 10) \times D \times C$$

式中 I_v 为侵染单位。 T 表示第二阶段在有光照和露水存在的情况下的平均温度。在10℃以上，温度升高对侵入有利；

D 为第二阶段有光照的条件下露水存在的时数；

C 为校正值，指的是在第一阶段黑暗条件下露水存在的时间。如第一阶段露水维持11小时以上，则 C 等于10；维持6小时， C 等于0.5……。露水存在的时间愈长就愈有利于形成附着胞。

现以田间情况为例说明预测式的运用。

$$T=20 \quad D=2 \quad C=1$$

$$\text{则 } I_u = (20-10) \times 2 \times 1$$

$$= 20 (\text{侵染单位})$$

在这种条件下,若采用 500 个孢子接种一张叶片,这样叶片上的侵染单位就是 20,即相当于在每片叶子上长出 20 个孢子堆。

小麦秆锈病菌的侵染过程可归纳为以下几个要点:

a. 分两个阶段考虑小麦秆锈病菌的侵染过程比之把这个过程当一个阶段考虑更为恰当,这样会获得更好的预测效果;

b. 假设侵染过程两个阶段的平均温度为 15°C 就可能发生两种情况:若早晨露水在叶片上存在时间短,则侵染不良。若露水在叶片上存在的时间长而光照温度也适宜的话,则侵染充分。

c. 秆锈菌侵染的最佳恒温是 24°C ,但是若第一阶段保持 24°C 黑暗之后,再经过 30°C 有光照的第二阶段,侵染效果更好。

d. 经过第一阶段,萌发了的秆锈菌孢子在 30°C 的条件下,可以形成侵染结构(如附着胞等)。利用多孔滤器所作的试验可以证实这一点。

以上有关试验比较接近于田间的自然情况,结果说明小麦秆锈菌侵染与环境有着密切关系。试验中还发现,在高温有光照的条件下秆锈菌孢子不会死亡,只是萌发受到抑制,温度下降则较为有利。白天叶面上往往缺少水分,这对孢子萌发不利。日出以后温度逐渐上升,若露水存在时间长一些的话,则有利于孢子萌发和侵入。早晨黑暗条件对孢子侵入不利。因为黑暗条件下小麦生长弱,呼吸产生的 CO_2 累积在气孔周围而阻碍了秆锈菌孢子的入侵。光照条件下植物体进行光合作用,利用了剩余的 CO_2 ,因而有利于孢子的入侵,这种情况与接种小麦黑颖病相类似。此外,保湿箱内接种效果往往不好,这是因为植株从保湿箱内移出后,未等气孔开启叶面上的水分就很快丧失。田间条件下露水存在时间较长,光照下气孔又能及时开启,而有利于孢子萌发和入侵。因此从保湿箱内取出植株时,应该让水分慢慢干燥。

第三章 小麦条锈病的研究设备

一、人工气候室:

小麦苗期对条锈病进行的全部研究工作都在人工气候室内进行。种子播在小瓦盆里,每盆播 10—20 粒。瓦盆放在水盘里,水分渗入盆内以保持土壤湿润。光照由 32 个日光灯供给。为了增加红光,另加 5 个白炽灯。光照时间由计时钟自动控制。为了使室内光照尽量接近田间自然情况,每天白昼采用的光变程序如下:

时间	光照灯数
6:00—6:30	普通灯
6:30—9:30	普通灯+16个日光灯
9:30—15:00	普通灯+32个日光灯
15:00—17:30	普通灯+16个日光灯
17:30—18:00	普通灯

在气候室内壁上装有六块板，板内通有氟利昂冷气管道以降温。加温设备设在下部。两个电风扇装在室的上角，既能加速空气流通，也可避免麦叶摇动。

室内温度由圆轮和“凸轮”(Cams)控制。圆轮系统控制 10°C — 30°C 的恒温，凸轮系统控制周日逐渐增减的变温。调节室温使之与田间温度变幅尽量接近并用记录仪自动记录。我们选择的夜/日温度分别是： $15/24^{\circ}\text{C}$ 、 $2/18^{\circ}\text{C}$ 和 $15/30^{\circ}\text{C}$ 。前二个接近蒙太拿地区4—10月的气候，而 $15/30^{\circ}\text{C}$ 则代表某些高温地区的气候。

二、沉降塔：

小麦幼苗在室内经一定时间培育之后便可在沉降塔内接种病菌。被接种的幼苗可用纸围住，使孢子集中沉降到叶片上。也可把苗盆倒放，使叶片平展以均匀承受降落的孢子。为便于取放，放瓦盆的园台可以转动。沉降塔内另可插入玻璃片，以检查孢子沉降情况。接种孢子采用二氧化碳喷枪喷射，喷射后10秒钟取出玻片检查，4分钟后沉降完毕。这种方法具有沉降均匀和便于孢子定量的优点。沉降塔种类很多，有的还可使每个苗盆同时转动，以增加孢子沉降的均匀度。如用不同的生理小种接种，则沉降塔内部须用药剂进行表面灭菌。田间孢子可用一种类似吸尘器的真空吸器采集。在病害流行季节，一般没有其它杂菌，若采收时混入叶子碎片或其它杂质，可以过筛去除。

三、保湿室：

接种后的幼苗放在用铝板制成的保湿室(露室)内保湿。保湿室置于低温室内，通过调节内壁的温度和下部槽内的水温，便能控制保湿室内的气温：若壁温为 2°C ，水温为 12°C ，则气温为 7°C ；若壁温为 15°C ，水温为 26°C ，则气温为 20°C 。壁温和槽内水温是用加热或加水的方法来调节的。室内气温和槽内水温的温差决定了室内结露时间的长短，以及露滴形成的大小。若二者温差过大，露滴变大而易流失。研究小麦秆锈病，通常采用的壁温、水温、气温值分别为 15°C 、 26°C 、 20°C 。研究条锈病采用的温度分别是 2°C 、 12°C 、 7°C 。

保湿室壁上挂有白色塑料薄膜，上面可以喷布孢子，染色镜检孢子萌发率，则能推知麦叶上孢子的萌发情况。用苯胺蓝(Aniline Blue)加酸性复红(Acid Fuchsin)对孢子和菌丝染色效果较好。条锈菌孢子比较敏感，过去发现在水洋菜培养基上萌发效果不好。如果配制水洋菜时用重蒸馏水搅洗多次，尽可能清除杂质，能使萌发率提高，但测定孢子萌发率，最好还是改用塑料薄膜代替水洋菜。

接种后的幼苗，通常放在 7°C 的保湿室内保湿。大约20分钟后苗叶上就会出现露水。一般经历24小时后即移入人工气候室，在变温条件下，经历21天，便可进行鉴定。侵染型分为00、00⁻、0⁻、0、1⁻、1、2、3⁻、3、4共10级；各级的描述见下章：

四、条锈菌夏孢子的保存：

6个月内要使用的孢子在 5°C 和50%湿度下保存即可。若要长期保存，可采用真空冻干的方法，把孢子放在密封干燥的安瓿瓶内在 0°C — 4°C 下保存。抽真空需真空泵等专用设备，一次同时可抽40多个管子。每管装20—40mg孢子，无需另加保护剂。抽真空时间为3小

时，一般要求高度真空 50—250 μ ，真空程度由仪器指示。另外，装置内可放丙酮和干冰，以除去水分，并避免水份抽入泵内。孢子含水份越少，保存的时间越长。含水量为 2—3 % 的孢子活力可保持 10—20 年。保存后的孢子若颜色正常，说明仍然具有活力；如果孢子的正常颜色消退，则表明孢子的活力丧失。

五、田间接种：

为了保证实验圃内麦株充分发病，每隔 20 行种感病品种 1—3 行作为传播行。在傍晚用喷射法对传播行接种。接种前可浇水使田块保持湿润，接种后加盖塑料薄膜压紧边缘以保证湿度。也可以在室内培育病菌，孢子产生后移入田间使其传播发病。

六、孢子萌发与侵入情况的观察：

观察孢子萌发可在接种后将火棉胶(Colloidin)滴在叶面上，然后撕下胶膜镜检。观察侵入后菌丝发展情况，可用透明剂水合氯醛(Chloral hydrate)处理叶片使呈透明状，然后用苯胺兰或酸性复红染色镜检。

七、相对湿度的调节：

在侵入前控制相对湿度是必要的，但一旦病菌侵入寄主，由于植物体本身就是优良的保湿环境，相对说来温度更为重要。人工气候室内夜间相对湿度通常保持在 80%，白昼保持在 40%。以过去产生湿气曾采用铜质的“发生器”，水溶的铜离子常会使麦叶上的孢子“中毒”而影响发芽。现在使用人工气候室，盆下安放水盘可避免这一现象的发生。

第四章 小麦条锈病菌的抗性和生理专化

五十年代末和六十年代初，美国西北部蒙太拿、华盛顿、俄勒冈、爱达荷等州，小麦条锈病一度流行，大部分生产品种丧失了抗性，造成了巨大的产量损失，在这些地区中，有的年份冬季较暖，条锈能以夏孢子越冬，在比较高处，由于雪的覆盖，是以潜伏菌丝越冬。在此情况下，迫使人们从国内外小麦品种资源中寻找新的抗源，并设法将其导入推广的小麦品种之中。随后发现从土耳其引入的小麦品种——P.I.178383 对当时条锈菌流行小种表现抵抗，同时兼抗三种小麦腥黑穗病（光、网、矮）及由一种头端孢引起的条斑病（*Cephalosporium gramineum*）。但是，它的农艺性状不理想，如秆软不抗倒伏，产量不高，品质差……等。因此，有些研究单位用它作非轮回亲本来改良小麦品种。俄勒冈州用它与当地感病品种 Omar 杂交，育成 Moro，蒙太拿州用它与 Westmont 杂交育成 Crest。这两个新品种推广种植后，Moro 仅三年时间就丧失了抗病性，反应型从 00 变为 4。而 Crest 经 10 多年抗锈性变化不大，其反应型仍为 00—0,1 之间。

为查明这一现象的实质，蒙太拿州从六十年代起，详细研究了 P.I.178383 的全部基因内容。

在记载抗病性标准时，为了计算侵染系数，将侵染型划分为 00、00⁺、0⁻、0、1⁻、1、

2、3⁻、3、4 共 10 级，而且分别用 0.1—1.0 的数值作代表。

侵染系数 = 侵染型的代表值 × 严重度

侵染型标准：	代表值
00 ⁺ ：仅出现很小退绿点，无坏死斑。	0.1
00 ⁻ ：有均匀的较小退绿斑。	0.2
0 ⁻ ：枯斑较大或大小相间，但不扩展。	0.3
0 ⁺ ：枯斑进一步扩展，形成大片。	0.4
1 ⁻ ：枯斑上出现极少数孢子堆。	0.5
1 ⁺ ：枯斑上出现较多的孢子堆。	0.6
2 ⁻ ：出现更多孢子堆，枯斑变小。	0.7
3 ⁻ ：枯斑与退绿斑同时存在，其上孢子堆稠密。	0.8
3 ⁺ ：无坏死斑，偶而有些退绿，孢子堆稠密。	0.9
4 ⁻ ：无退绿和坏死斑，孢子堆稠密。	1.0

为查清 P.I.178383 的抗性基因组成，将其与感染品种 Itana 杂交，F₂ 抗病性分离非常复杂。在控制的温度、光照条件下，将分离后代中“0”型、“1、2、3⁻”型和“3、4”型植株，逐代分别选择，连续自交，经多代后，各类型稳定遗传为止。然后以“3、4”型的稳定株系作测交品种，分别与中感(3)、中抗“1、2、3⁻”和高抗“0”的株系杂交。在各种组合的后代分离比例中，分离出了含有可察觉的一对、二对、三对微效基因。见表 7、8、9、10：

表 7 P.I.178383 控制对条锈抗性的基因(一个微效基因的分离)

品 系 号*	F ₁ 可能的基因型	F ₂ 侵染型分级 (3、4)、(3 ⁻ 、2、1)		比 例	P 值
53	aaBbCCDD	65	26	1:3	.50—.30
54	aaBbCCDD	64	28	1:3	.30—.20
55	aaBbCCDD	71	19	1:3	.50—.30

* 侵染型(4)植株同侵染型(3)植株杂交，所有植株在 15/24°C(暗/光)下生长

表 8 P.I.178383 控制对条锈抗性的基因(两个微效基因的分离)

品系号*	F ₁ 可能基因型	F ₂ 侵 染 型 分 级 (4、3) (3 ⁻ 、2、1) (1 ⁻ 、0)			比 例	P 值
38	aaBbCcDD	26	19	2	1:6:9	.90—.80
38	aaBbCcDD	73	8		3:13	.05—.02
40	aaBbCcDD	30	17	2	1:6:9	.80—.70
40	aaBbCcDD	33	12		3:13	.20—.10
49	aaBBCcDd	41	29	4	1:6:9	.95—.90
49	aaBBCcDd	66	11		3:13	.50—.30
51	aaBBCcDd	54	35	3	1:6:9	.70—.50
51	aaBBCcDd	28	5		3:13	.70—.50

* 侵染型(4)植株同侵染型(0)植株的杂交。每个品系的第一代材料在 15/24°C 下生长，每个品系的第二代材料在 2/18°C 生长，(暗/光)。