

目 录

序	
绪言	(1)
第一篇 林带对于与作物产量有关的水文气象因子的影响	(7)
第一章 林带对风的影响	(8)
第一节 林带的防风作用与其结构和风向交角的关系	(8)
第二节 林带构成的网格内的风过。狭口的影响	(19)
第三节 连片的带状造林对风速的改变。流线的抬升	(24)
结论	(27)
第二章 林带对湍流交换的影响	(29)
第一节 林带对风的结构和大气层结的影响	(30)
第二节 林带对大气近地层和边界层内湍流交换强度的影响	(38)
结论	(42)
第三章 林带对可能蒸发量、蒸发和作物蒸腾的影响	(44)
第一节 林带对可能蒸发量的影响。灌溉耕作条件下林带的作用	(45)
第二节 林带和某些良好的农业技术措施对农田蒸发和蒸腾的影响	(51)
结论	(56)
第四章 林带对农田小气候的影响	(59)
第一节 强风、酷热和干旱对植物的危害	(60)
第二节 林带对雪的分布和土壤含水量的影响	(72)
第三节 林带和林带绿洲对农田小气候的影响	(79)
第四节 以高度的农业技术为背景, 估计未来林带影响下大范围的	

土壤蒸发和水量平衡的变化	(85)
结 论	(93)
第二篇 林带在防御尘风暴和土壤侵蚀中的作用	(97)
第一章 尘风暴(土壤风蚀)的物理实质、尘风暴的分布及频率。1969年冬季和春季的尘风暴	(99)
第一节 尘风暴的物理实质	(99)
第二节 尘风暴的分布和频率	(103)
第三节 1969年的尘风暴	(104)
第二章 防御尘风暴的方法	(111)
第一节 防御尘风暴的农业技术措施	(111)
第二节 林带防御尘风暴的作用	(116)
第三节 防御尘风暴的综合措施	(128)
第三章 林带是防止土壤水蚀的手段	(132)
第一节 土壤水蚀发生的原因。侵蚀的自然因素和人为因素	(132)
第二节 防止土壤水蚀的组织措施和农业技术措施	(134)
第三节 林带——防止土壤水蚀的可靠手段	(137)
结 论	(142)
第三篇 林带对作物产量的影响	(145)
第一章 根据带间农田水量平衡的变化计算林带影响下的可能增产量	(148)
第一节 农田水量平衡及其与作物产量的关系	(148)
第二节 根据水量平衡方程计算作物产量的变化	(151)
第三节 林带对农田的水量平衡要素和作物产量影响的平均值的计算方法	(153)
结 论	(163)
第二章 根据实验资料计算林带影响下的可能增产量	(165)
第一节 增产量与距林带距离的关系(实验资料)	(165)
第二节 根据实验资料计算带间农田产量平均变化的方法	(168)
第三节 实验资料计算结果和水量平衡方程计算结果的比较	(172)
结 论	(174)
第三章 带间农田的最适大小和形状及有关的具体建议	(175)

第一节	产量的提高与林带高度、带间农田面积、长度和宽度的关系	(175)
第二节	林带开口长度与提高产量的关系。林带的最适配置。附加林带	(179)
结论		(185)
第四篇	护田林带的经济效益	(187)
第一章	林带的农业效益。作物增产与损失之间的关系	(190)
第一节	护田林带农业效益的概念	(190)
第二节	个别年的林带农业效益指标。作物产量损失平衡高度和平衡年	(197)
第三节	林带农业效益总指标。作物产量损失补偿高度和补偿年	(206)
结论		(220)
第二章	林带的经济效益。支出和收入的关系	(223)
第一节	基本概念	(223)
第二节	林带个别年的经济效益指标,支出平衡高度和支出平衡年	(227)
第三节	林带经济效益总指标。支出补偿高度和支出补偿年	(233)
结论		(238)
第三章	护田林带的利润率和成本回收率	(241)
第一节	基本关系	(241)
第二节	关于农产品成本的林带利润率	(249)
第三节	关于固定基金的林带利润率	(255)
第四节	林带的成本回收率	(259)
结论		(262)
参考文献		(264)

绪 言

陆地的土壤气候条件并非到处都很适于农作物的顺利生长。众所周知,陆地的面积约为一亿五千万平方公里,其中约30%是森林,18%是山岭,32%是荒漠或冻土苔原所占据,仅20%是草原、草地和农田。然而,其中很大一部分还不适于耕作(包括干旱、盐碱和沼泽化的土地,以及居民点、建筑场地、道路、沟谷等的占地)。耕地和各种宜于种植的占地仅为一千四百万平方公里。当世界人口超过三十亿时,则平均两人以上才占有一公顷耕地,因此,供养人类的问题乃是一个极为紧张的问题。

在一定程度上这一紧张状况对领土面积为二千二百三十万平方公里的苏联来说亦是如此。在这一面积中,冻土苔原占8%,泰加林占34%,森林草原和草原占14%,荒漠和半荒漠占13%,山地占31%。国内共有六亿零九百万公顷的农业用地,其中耕地为二亿二千六百万公顷,割草场为五千三百万公顷,放牧场为三亿一千八百万公顷。因此,在苏联是平均每人占有一公顷耕地。

有一部分可耕地分布在过湿的地带,并且常年热量不足。有一大部分耕地分布在水分不稳定或不充足的地带。无论是哪种情况,都不太适于农作物的顺利生长。

苏联北部地区气温较低，如果不施肥，不对土壤和空气补充热量，则在土壤和空气的任何湿度条件下都不可能获得高产。从极地向赤道过渡，随着太阳辐射的增强，作物获得高产的天然的潜在可能性亦随之增大。由于草原和沙漠地区土壤和空气湿度都小，从而植物量的增加受到了限制，而这些资源也就不是到处都得到了充分利用。仅在赤道地带，这里降雨充沛，因而生物物质的形成极为旺盛，但即使是这样的条件也并非是最好的条件。

地植物学者断言，在表现出较强烈的“温室效应”的历史时期，土壤表层得到了来自下部层次的热量补给，并在贮水充分的情况下，那时植物量的增长强度比现在的为大。由此可以假设，在使水分状况达到与自然热量状况相适应的土壤改良的第一（现代）阶段之后，出现了土壤改良的第二阶段，这时将通过人工措施提高土壤和空气温度，来扩展创造生物物质的潜在可能性。将良好的水分状况与较高的土壤肥力很好地结合，这就是提高作物产量的一条新途径。

在苏联的草原和森林草原地区分布有最肥沃的土地，这里有丰富的来自太阳辐射的能源，但这些地区的主要灾害是干旱和早风。有各种各样的防治这些灾害的方法，但所有防治方法的目的只能是一个，即消除或减轻干旱现象的危害后果。

干旱和早风的长期预报是良好的防治方法之一。预报为及早预防干旱和早风（如播种即使产量较低但能抗旱的作物品种，正确地配置轮作，较充分而仔细地选择必要的农业技术措施等）提供可能。然而，在学会对这些现象进行预报并

顺利地予以防治之前，必须对其进行认真的研究。

如果说对于发生在苏联欧洲部分南部平原地区的干旱原因已有了一些了解（与反气旋类型天气条件下从北部或大西洋地区进入的变性气团有关），则直到目前为止，对旱风还缺少足够的认识。

关于旱风时气象要素随高度的分布、关于它的水平距离和程度；关于旱风在地表面上的垂直厚度和条件；关于其温度层次和运动的稳定性；关于旱风流的能量资源以及在下垫面影响下的变性等方面还知道得不多，尤其是在科学和实践上大都注重研究在林带、灌溉地和水面等影响下旱风流的变性。

为减弱干旱的有害影响而采取的措施可包含积极的和被动的两个方面。在被动措施中，首先是选择更为耐旱和早熟的作物品种，从而不使作物造成显著减产。这一途径加上应用现代遗传学的最新成果，为防治干旱和旱风的危害开辟了广阔的前景。

除选种外，在防治干旱和旱风方面，采用能促进积聚土壤水分和减轻水分消耗的集约农业措施具有重要意义。这类农业技术措施包括蓄雪、深耕、耙地、除草、休闲地播种和留茬地播种、改变土壤结构等，还包括采用深耕、围堤、修梯田等蓄积地表径流（化雪水和雨水）的措施。

如果说选种方面的成就可降低干旱的危害，农业技术措施可提高水分蓄积和植物所需要的水量，那么正确考虑气候资源并对其加以改善，也能降低干旱程度及其有害影响。这里首先应提到的是包括根据作物抗旱性而在地域上合理配置农

作物的必要性。这不仅要考虑总的土壤气候条件，而且还要考虑到各单位每一农田和地段的小气候特征。在这些直接影响农田和作物的小气候因素中，应该指出的是森林覆被率、坡度和坡向、距水面的远近等。特别当风从水面吹来时，池塘和水库能明显地使沿岸地区的气候变温和。

积极防治干旱现象的根本手段应该是农田灌溉。这样能从根本上改善植物的水热状况，提高灌溉农田的辐射平衡，增加用于蒸发的热量消耗，降低大气的湍流交换和土壤中的热交换。这种状况有利于提高空气湿度和降低空气温度，而这又能促进干旱和旱风危害的消除。在很高水平的农业技术配合下，无论周围环境怎样干旱，灌溉都可以保证农田稳产高产。

防治干旱和旱风的另一积极措施是人工降雨。关于人工降雨增加水分的效果，世界各国的文献中有不同的数值。苏联学者在这方面作出了很大的贡献。依据他们的研究结果可以认为，按目前的可能和现代的关于云和雨形成过程的知识，例如，就乌克兰草原而言，其降水增加量不会超过10—15%。这一数值取决于在自然情况下不形成降水的云的频率、云的水量和水分循环强度以及微物理特性等。

根据在乌克兰草原所取得的实验数据，夏季降水增加10—15%时，作物平均增产约1.0公担/公顷(或5%)，尽管这一数值很小，但换算成广大面积来讲，该数值则还是相当可观的。

人工降雨的根本缺点是在于早年的效果差，在这样的年份里，天然雨量很少，可引起降雨的云量也很少，在这种极

为不良的条件下想得到补充的降水，实际上是不可能的。

改变农田水量平衡的另外一种途径是在其表面采用各种覆盖层或高分子膜，从而抑制土壤表面的蒸发。

土壤蒸发可使空气湿度有所增加，并能使气温有所降低。然而，在自然界的水分循环中，可不必考虑空气湿度的这种额外增加，因为这种局部蒸发对大范围大气的水分集聚的影响是相当小的，所以这种蒸发减少不会引起大气的明显变化，但是却能实际上改善干旱地区的土壤水分状况，使该地区农田在非灌溉条件下适于获得高产。

近十多年来，无论是苏联还是其它国家，都广泛地开展了关于各种抑制剂对蒸发强度影响的研究，而且大部分工作是集中于研究减少水面蒸发的可能性方面，目前我们已搞清了抑制剂的适用条件，并做出了关于实际应用效果的经济上的评价。

将此法用于土壤将可得到很有意义的结果。这类研究工作亦正在广泛地进行。此外，各种膜、乳剂和覆盖物不仅用来使蒸发降低，而且尚应用于防止土壤侵蚀。在灌溉农田上采用蒸发抑制剂的效果尤为显著，在降低蒸发的同时，也使土壤温度有所提高。由于在很大程度上实验结果尚相互矛盾，所以对此方法的实际应用还不能作出经济估价，因此尚须继续进行深入的工作。

由于建立和开拓灌溉系统需要大量投资，又由于苏联许多地区水资源贫乏，因而限制了灌溉地的面积。大面积建立覆盖物或膜的复杂性也不允许使这种方法在实践中得到广泛的采用。如果再考虑到干旱条件下人工降雨的效果不大这一

点,则就必须寻求其它更好的影响农田水量平衡的办法(除已列举的办法外)。这样,建立林带就成了防治干旱和旱风的最主要和最^{有前途}的办法之一。遗憾的是,人们往往只是在特别干旱的歉收年份(如1972年)才想到它。

只有在高度发达的农业技术条件下,有良好的劳动组织,又有高级的农业技术装备,才使苏联各地的农村劳动者能在极为不良的水文气象条件下得到相当好的收成。其中林带起到了不小的作用。因此,虽然防护林的营造和抚育工作有些间断,但其面积却在不断扩大。

本书的目的就是在于评价林带的水文气象效益及其对农作物产量的影响。

第 一 篇

林带对于与作物产量有关的

水文气象因子的影响

林带对作物生长条件的良好影响表现在减弱风速和湍流交换强度、积蓄降雪和降低蒸发，即增加土壤水分，和使水分从农田上蒸发和蒸腾得更为节省。这些因子下面将统称为产量的水文气象因子，这些因子将制约着农田的水分状况，并最终使作物增产。

在林带影响下，土壤能积蓄田野的地表径流（提高含水量），这就造成干旱地区的林带顺利生长的有利条件。由于林带能截获地表水，因而也就提高了地下水位，并能降低洪水和暴雨对土壤的侵蚀。风速的降低，也减弱了尘风暴和旱风的有害影响。在大面积林网化的条件下，由于使下垫面粗糙度增加和蒸发量提高，也会使降水有一定的增加。

第一章 林带对风的影响

因大气压的差异而造成气团相对于地表面的移动称为风。这种大气压的差异，通常是与地表面不同的受热程度或直接的太阳辐射所造成的气团热状况的差异相关联。

风是所有大气过程的经常的伴随现象，风具有速度、方向和结构等特征。在下垫面热力作用差异很大的地区，在高地上和在范围很大的光滑而平坦的地区条件下，包括在草原带（这里的农田防护林特别有效），通常都会观测到很大的风速。

第一节 林带的防风作用与其结构和 风向交角的关系

我们来看看当气流吹到林带上时，气流的变化示意图。这幅图是在总结关于林带对中等风速的影响、林带上空气团的抬升和林带对气流结构的影响的实验数据的基础上编制的。关于林带对低层大气（几米高）风的结构影响的数据，除用其它方法之外，主要是借助于热线风速计和垂直风速表取得的〔63〕。从几米到几百米（直到大气边界层的上界）的风的结构数据是利用平衡测风气球〔22, 63〕、基线测风气球观测〔21, 68〕和借飞机进行的专门研究〔70〕取得的。文中所引

用的绝大部分实验数据是取自卡明草原的林带绿洲（沃龙涅什省）、乌克兰林业和农林土壤改良研究所的一些点站以及乌克兰南部林带附近的农田。

林带对风速的影响在很大程度上是取决于林带的通风度（продуваемость） δ 。林带通风度的数值可用林带透光面积与林带总的垂直面积的百分比表示，这个百分比也称为林带的疏透度（ажурность）。

在紧密结构林带后面距林带很近处，平均水平风速几乎减到了零（图1a），此后风速廓线迅速恢复（到了距林带

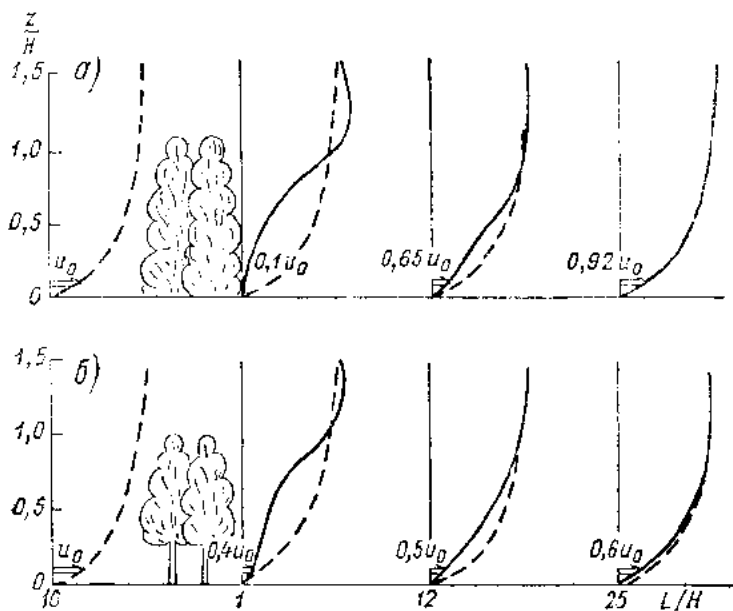


图1 紧密结构和通风结构林带对平均水平风速的影响

a—紧密结构林带；б—通风（疏透）结构林带； u_0 —林带前的风速，
H—林带高；L—距林带的距离；z—高度。

25—30倍带高附近，风速廓线已与遇到林带之前的风速廓线无大差别）。在此情况下，空旷草原和林带后1—2米高处的相对风速之差小于5%，这种差别通常是在风速测量的误差范围内。绕过紧密结构林带的气流的动能仅在下层空气从林带上面越过并在与树冠的摩擦中消散，因此这样的林带对减弱风速总的影响不大。

当气流越过通风结构林带时，直接在树冠上面的水平风速随即增大（表1），这种增大一直到林带之上4—5倍带高处还很显著；在大气不稳定层次时，风速增大可达到带高的8—10倍的高度。

表1 卡明草原林带上面风速的增加

带 高 (米)	风 速 (米 / 秒)		
	农田 2 米高 处	农田测风气球抬升到 林带以上的高度处	林 带 上
19.5	1.9	3.1	3.7
20.0	1.7	2.8	3.0
10.0	3.6	5.4	5.5

通风结构林带背风面附近的风速廓线变形很小，但随着远离林带，风速增加得却很缓慢，这就是说在距林带25倍带高处，风速廓线还没有完全恢复（图16）。通风结构林带的防风作用可达40—50倍带高的距离，比紧密结构林带大得多。在通风结构林带上面，风速亦增大，但比增速区的高度却小一些。

总之，气流通过林带过程的机制以及林带的防风作用在很大程度上取决于林带的通风程度。对许多资料加以整理

[61, 76等]而得出的上述关系表明, 大约为 30% 通风度的林带, 其防风作用最大(图 2)。防风作用 ξ 表示林带背风面所减弱的平均风速与旷野风速的百分比。据 М.И.Юдин [138] 和 Д.Л.Пайхтман [79] 的看法, 这样的通风度亦与林带对风的湍流结构的最适影响相适应。

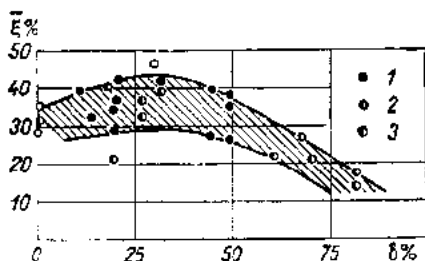


图 2 林带的平均防风效益 ξ (到30H 距离) 与林带通风度 δ 的关系

1—根据 Бялович 的资料^[18], 2—根据 Кучерявых 的资料^[60],
3—根据 Панфилов 的资料^[31]。

一些文献 [62, 68, 76, 104等] 的实验资料表明, 下部疏透度最大 (疏透度达 50—60% 以上), 并且随高度而逐渐减小, 使总疏透度约 30% 的林带是最适宜的。下层通风度加大对分布积雪有好处, 而且在这种情况下, 不致在带内形成大雪堆。

防风效益并非直接取决于带宽, 而是取决于单位带长上的树木栽植密度 (在一定的树冠形状和树冠密度条件下), 一系列的实验结果都充分地证实了这一点。总之, 对于用途是起防风作用的林带, 如果由于局地的气候特点或由于林带要按地形配置 (如沿坡), 则可将其宽度减到不致减少其防护作

用的某一最低限度,这就可减少顺坡配置的林带的占地面积,并增加横坡林带的占地面积。横坡林带除有防风作用外,还有截获化雪水和雨水的地表径流的作用。

下面探讨一下不同风速时林带的效益。虽然对此问题已有许多研究,但直到目前仍不甚清楚。如果根据林带的防风作用来判断其效益,则可指出一系列对此有重要影响的因素。

速度小的气流通过林带后不形成明显的涡旋,而在大风速时,穿过林带的气流在形成涡旋时消耗了本身的大部分动能。另外,在由动力因素造成冲击气流时,大的风速与强烈的湍流交换相对应,因而在这种情况下,林带影响所波及的距离就小些。

大速度气流的动能足以使一些枝叶吹弯而使树木成为较密集的植物体,因而增加了林带的透光孔隙,使林带更通风。当林带的疏透度小于最适疏透度时,由于强风使林带的通风程度加大,从而可增大林带的效益。对于具有最适疏透度或大于最适疏透度的林带,在这种情况下其效益要减低,因为大风使疏透度过分增大,而其效益变小。所以,透风小的林带的防风效益随风速的增加而增大(图3),这种情况亦为一系列实验所证实,如И.М. Горшенин [31]写道:“紧密结构林带在其近距离内的防风效益随风速增加而增大”。

正如对实验资料分析所得结果那样,对于通风结构林带,风速增加可提高或降低其防风效益。对此问题的各种不同的结论也就说明了这一点。

其次谈谈防风效益和带高的关系。通常认为,效益与带

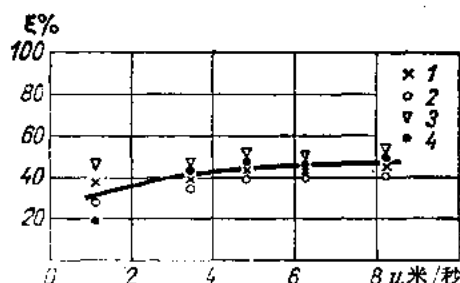


图3 在 $L/H=20$ 范围内，林带的平均防风作用 ξ 与吹到林带的气流速度 u 的关系（卡明草原，带高18米，通风度为20%）

风速测量高度：1)0.2米， 2)0.5米， 3)1.0米， 4)2.0米。

高成正比。这种情况仅仅是在风速不随高度而变时才是正确的，实际上由于风速随高度而增大，如前所述，对于疏透度小于30%的林带，其效益随着高度的增加而呈正比地增大，增大程度大于风速不随高度而变时的程度；当林带疏透度大时，情况则相反。

林带的防风效益随湍流交换的增强而减小。近地层的湍流交换上午和中午最强，因而在这段时间里林带的效益最小。这一事实亦为一系列实验所证实。例如，Ю.П.Бяллович^[18]指出：“在上午观测到林带的防风作用下降”。本篇第二章第一节对一昼夜期间林带防风作用的分析也证实了这一点。在Я.А.Смалёко的著作中^[124等]对这一问题研究得很详细。

现在再谈风向交角对林带效益的影响。大量的材料仅仅分析了风向与林带相垂直的情况，仅有一部分材料^[31, 61, 68]研究了与林带相平行的风场，而一些作者对于林带在这

种情况下的防风效益一事甚至不认为是一个问题，通常认为其效益近于零，即在风与林带平行时，林带对风速无明显的作用。Г.И.Горохов [30] 和 Ю.П.Бяллович [18] 即持此观点，后者确信，在此情况下林带的效益不过是 2%。然而有些实验资料 [9, 61] 指出，当风与林带平行时，林带有明显的防风效益。这种情况并非偶然，林带犹如一堵有很大粗糙度的直立的墙，因此对平行流的阻碍作用可扩展到与林带相垂直方向上的很远距离。

如果气流在一个平坦的下垫面上运动，那么在每一高度上都有其一定的速度，并且在整个所研究的范围内都是如此。当有林带存在时，在其附近的地平面的每一高度上也都形成各自的风廓线。

根据在平面上风速分布与距林带距离关系的对数规律，可列出下式：

$$u_x = u_0 \frac{\ln x/z_0}{\ln x_0/z_0} \quad (1.1)$$

式中 x ——从林带到风速为 u_x 点的距离， x_0 ——从林带到风速为 u_0 点的距离， z_0 ——表示林带侧面粗糙度的参数，对于有植物覆盖的表面，其数值通常为植被凸起部分的平均几何尺寸的 $1/7$ 。

在林带体系中，可将 x_0 认为是主带距的一半，这样， u_0 即为带间中点处的风速。为了计算一条与风平行的林带的效益，正如实验资料所证实的，可近似规定距林带 200 米处的风速等于旷野风速。

Горшенин 和 Молчанов 在距林带不同距离的一米高处