

土面增温剂的 机理与效应

牛文元 张仁华 等著

科学出版社

土面增温剂的机理与效应

牛文元 张仁华 等 著

科 学 出 版 社

1982

内 容 简 介

土面增温剂自 1970 年在我国试制成功以来,经过全国各地十几年大面积的推广使用,证明它能够抑制水分蒸发,提高土壤温度,增强作物苗期素质,并具有保墒、压碱、抗御风吹水蚀等作用,对促进农业、林业生产等方面有显著效果,受到了使用者的好评。

本书是一本论述土面增温剂机理与效应的论文集,是在土面增温剂推广使用的基础上,对土面增温剂作进一步研究和探讨的成果。旨在较深入地揭示土面增温剂在改变地表热量与水分结构状况的内在规律,它的物理特性与增温机理。同时较系统地阐明了土面增温剂的物理特性的测量原理与其密切相关的红外测温技术、化学机理、农田效应等。可供从事土面增温剂研究、制造和使用的同志以及对研究、改造、控制生态环境的农学、林学、气象学、地理学等方面的同志参考。

土面增温剂的机理与效应

牛文元 张仁华 等著

责任编辑 吴三保

科学出版社出版

北京朝阳门内大街 137 号

中国科学院开封印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

1982 年 1 月第 一 版 开本: 787×1092 1/32

1982 年 1 月第一次印刷 印张: 4 3/4

印数: 0001—2,500 字数: 106,000

统一书号: 13031·1787

本社书号: 2428·13—13

定价: 0.76 元

前 言

自从一九六七年以来，中国科学院地理研究所比较系统地开展了化学物质抑制水分蒸发的研究，以此作为调节和控制局部地区地表热量水分平衡的手段，达到改造自然的目的。并且在应用单分子膜(或多分子膜)节省水分与增加温度这两个互为耦合的方面，平行地进行了制剂的选配与效应的测试。在此基础上，于一九七〇年，和大连油脂化学厂一起，正式研制成功土面增温剂。

针对我国自然条件的一些具体特点，在地表热量与水分状况不相协调的广大地区与较长季节内，亟需实行调控与改造。最突出的，如早春季节的低温寒害(即热量资源不足或不稳定)，对农业生产及作物种植有很大威胁。北从寒温带、南至亚热带，早播种、早出苗，尽量延长农作物的生长日数，是保证农业稳产高产的关键措施，也是最大限度利用太阳光能发挥农业生产潜力的迫切要求。这样，在早春季节提高土壤温度，就成为改造自然，提高农业生产水平的任务之一。鉴于土面增温剂具有较大幅度与比较经济地提高土壤温度的作用，因此它已成为完成这一任务的有效手段之一。我们研制出的几个较好的剂型，已在全国广大地域进行了将近十年的应用和推广。它们对于早春季节的水稻育秧、棉花育苗、玉米育苗、薯类育苗、苗圃林木培育等方面，取得了增加土壤温度(在早春季节日平均增温达到 3°C ，日最大增温超过 11°C)、保持土壤水分(在田间的抑制蒸发率可达60—80%)、提高农作物苗期素质、增加幼苗抗逆能力、促使产量提高等显著效果，受到

使用者的好评。

在原料选配上、在应用目标上、在取得成效上均具我国特点的化学覆盖物——土面增温剂,除了上述作用外,它们还具有保墒、压碱、抗御风吹水蚀、改良土壤等多方面的效益,并可望在改造沙漠、水土保持、营造防护林带、改良盐碱土等方面发挥其功用。我国所制造的这种土面增温剂,在其主要性能指标上,已经达到此领域内世界同类制剂的水平。无论在剂型选配还是在应用效果方面,都受到一些国外同行的重视。经过国家鉴定,已得到了充分的肯定。

土面增温剂的基本作用原理是:利用某些化学成膜物质所具有的特性,覆盖于土壤表面之后,可以有效地抑制土壤水分的蒸发,从而减小了太阳辐射能的潜热消耗,改变了地表的辐射平衡状况与吸热散热规律,重新调整了地表热量与水分平衡各组分的数值。众所周知,地表面热量水分状况及其综合效应,地表特性对于能量与物质实施变换与传输的机理,是制约一地自然地理特征的基本原因,因而它一直成为近代自然地理学的基本理论课题之一。所谓改造自然,从本质上去理解,最终归结为人类有目的地去调整或控制某个地域的热量水分组合,并且能够相应地稳定或提高该地域的“初始生产力”(Primary Productivity)水平。如此看来,深入研究土面增温剂在潜热转换等方面的程度、范围及方式,无论在理论上,还是在实践中,都具备很大的价值。

有关土面增温剂的一般知识,科学出版社一九七六年出版、并已修订再版的《土面增温剂及其在农林业上的应用》一书中,曾加以介绍。随着研究工作的进展及理论探讨的深入,本书旨在进一步揭示土面增温剂在改变地表面热量与水分结构状况的内在规律,揭示其物理特性与增温原理,比较详细地阐述其合成的化学机理,同时还介绍了土面增温剂在不同

方面应用时的田间效应及其与作物之间的关系，较系统地阐明了土面增温剂物理特性的测量原理与技术。全书纳入有关研究论文七篇，分别阐述土面增温剂的作用机理与效应，并且系统地综合了化学覆盖材料的历史演变过程。可供从事该方面研究的同志以及农学、林学、地理学等方面的同志参考。

本书在著述过程中，承蒙左大康、丘宝剑、刘昌明等先生指导、审阅，在此表示衷心的感谢。由于我们的水平所限，错误之处请予批评指正。

目 录

前言

土面增温剂的发展与应用·····	牛文元 (1)
土面增温剂覆盖膜的增温机理·····	张仁华 (27)
土面增温剂物理特性的分析 和测量原理·····	张仁华 (44)
土面增温剂增温效应的理论计算·····	陈发祖 (96)
土面增温剂合成的化学机理·····	赵名茶 (109)
土面增温剂对稻秧田小气候的影响·····	洪嘉琰 (128)
土面增温剂对表层土壤盐分的抑制 作用·····	许越先 (141)

土面增温剂的发展与应用

牛 文 元

从一九六七年开始，我国正式开展了单分子膜抑制水分蒸发的研究。某些化学物质，例如天然的或人工合成的脂肪醇、脂肪酸等直链碳氢化合物，经过适当的处理后，借助于它们所具有的亲水、亲油两性基团，当其在水面上展布时，可以形成厚度为一个分子层的栅栏状薄膜。这个极薄的单分子膜，能够起到阻滞水分汽化时的逃逸速度，改变并且转换了自然条件下的潜热状况，重新调整了热量平衡各组分间的分配，从而达到抑制蒸发保存水分和增加温度的目的。

在实际应用中，发现这类单分子膜铺设于水面之后，在许多方面具有不易克服的弱点。于是从一九七〇年起，逐步演进到现在已经大面积应用的土面增温剂。土面增温剂是由几类化学成膜物质组成的乳状液，用其在农田土壤表面上形成比在水面上厚得多的多分子膜，并且着重应用它在改换潜热状态时的另一效应，即应用它所具有的调整自然界热量平衡各分量的能力。由于它能导致汽化潜热分量的贮存，所以其直接后果必然是相对地增加土壤的温度。这种伴随抑制蒸发时的偶联效应——增加地中热通量的作用，使得它的实用价值大大提高。目前在我国的广大地区，将土面增温剂用于早春季多种作物及林木的育苗时，收到了良好的效果。在世界各国开展化学物质抑制蒸发研究以及应用于农田的领域中，无论在制剂的类型、原料、配方和工艺流程方面，还是在应用的技术、应用的对象、应用后的效益等方面，都开创了我们自己

的道路。从而为改造自然，创造更加适宜的水热条件以满足农作物的生长，最后获得农业增产，开辟了一条重要的新途径。

一、化学覆盖物的发展

(一)

很早以前，人们就已经知晓覆盖于水体之上的油膜，能够有效地抑制水分的蒸发，并且能更有效地保持水体的温度。一碗油汤比一碗开水在冷却时要明显地慢得多，就是一个很普通的例子。

美国著名的科学家本杰明·富兰克林于 1765 年，就曾把油撒布在英格兰克拉法姆的一个池塘中，并且对在水面上形成的油膜作了相当细致的观察。据他的估算，该油膜的厚度约为 $25 \text{ \AA}$ 左右的数量级。1917 年，著名的诺贝尔奖金获得者兰米尔(Irring Langmuir)在这一领域中，做出了突破性的成果，获得了同行们的赞誉。他以严密的构思，加之精巧的实验，令人信服地确认所试验的化学物质膜可以达到一个分子层的厚度，并且可把这种动态变化加以定量的表达。在此单分子层中，分子排列具有整齐的方向，饱和直链高碳醇的亲水

基团($-\text{OH}$)与水相结合，而亲油的碳氢链 $\left(\begin{array}{c} | \\ -\text{C}- \\ | \end{array}\right)$ 由于憎水

而直立于水面以上的气相中。

当饱和系列的脂肪酸或脂肪醇在水面上被压缩成为单分子膜时，尽管碳数不同的各种酸及醇的碳氢链长度是不同的，但这些碳氢化合物一旦集中起来以均匀的单分子膜分布时，相同分子数都占据着相同的面积。兰米尔正是据此进行了卓

著的研究并作了精确的解释。1925年里迪尔设计了一种简单的但却是富有成效的装置,确切地指出了高碳醇、酸的单分子膜,至少可以抑制水分蒸发达50%。以后的实验证明,他的这个基本结论是被肯定的,但是里迪尔实验所获取的实验资料,却由于不可能进行单分子膜的表面压力测定,因此仍然是不完善和不精确的。

赛巴和布利斯科二人(Sebba和Briscoe),于1940年首次提出把横压力效应扩大到单分子膜的实验中,他们使用了称做兰米尔型的“膜天平”,并且在控制横压力的条件下,测定了水分的蒸发速率。尽管他们二人的想法是十分重要的,但是在实验过程中,由于在测定水分蒸发速率时,忽视了蒸发面之上的空气所进行的水平移动,没有估计到这种水平移动所带来的强大影响,从而导致了所获数据的混乱性。因水面之上空气层移动时,乱流扩散及垂直对流均随之加强,若不消除这种附加效应,势必在估算单分子膜的抑制蒸发的效果时,带来巨大的困难,甚至有时单分子膜的表面亦被扰动,严重时还可以发生破裂。

兰米尔于1939—1941年期间,又重新在赛巴等人实验的基础上,作了进一步的改进,从而奠定了对单分子膜抑制水分蒸发效应测定的基础。他同他的助手谢弗(V. Schaefer)共同努力,首先对测定原理作了深入的说明,继之对于测定装置作了改进。在1943年,他们详尽地阐述了他们所发展的测定方法。通过使用底面积严加确定的圆盒,盒内盛干燥剂,然后将它置于单分子膜上方十分接近膜表面的距离上(约1到10毫米),如此可以极大地消除水面上方空气乱流作用的巨大影响。此时,越过单分子膜逃逸到空气中的水分子,直接被其上方圆盒中的干燥剂所吸附,而后随及由气态凝结为液态,使得圆盒中的干燥剂增重。这时,只要精确称量干燥剂的增重状

况，即可十分容易地获得水分蒸发速率的数据。再与未覆单分子膜的清水水面的蒸发速率相对比，不难判断出单分子膜的抑制蒸发效果。

以后，阿切尔和拉麦尔(Archer 和 La Mer)二人于 1954 年和 1955 年，共同研究了长链脂肪酸系列(即 $C_n H_{2n+1} COOH$)，接着罗萨诺和拉麦尔(Rosano 和 La Mer)于 1956 年继续对于酯、酸、醇等有机物及其混合物的抑制水分蒸发能力进行了比较。与此同时，众多的研究者在扩散机制、物质纯度、单分子膜膜压对于蒸发速率的控制、水中微生物活动对于单分子膜的破坏，以及抑制水分蒸发的实际应用诸方面，进行了广泛的报道，并一直延续至今。

(二)

上已述及，真正奠定了单分子膜抑制蒸发速率测定工作的，应当归属于兰米尔及其合作者斯切藩。他们从带有单分子膜与不带这种膜所测的水分蒸发速率对比中，得到了单分子膜的蒸发比阻，这是表明抑制水分蒸发能力的一个极重要的特征值，可以用下式表达之：

$$r = a(W_w - W_a)(t/m_f - t/m_w) \quad (1)$$

式中的 r 为蒸发比阻，可将其定义为：水分质量传输速率的倒数，它的单位为秒/厘米。由此定义可知，蒸发比阻 r 越大，水分就越难于汽化而逃逸。 a 为盛干燥剂的并且十分接近于单分子膜的圆盒底面积，单位为平方厘米。 W_w 与 W_a 分别为水的及干燥剂的水汽平衡浓度。 t/m 为蒸发速率的倒数，其中 m 右下角的标注 f 与 w ，分别表示有单分子膜的水表面与无单分子膜的水表面。

该测定方法已为阿切尔和拉麦尔在 1955 年的实验中所采用，并且同时改进了单分子膜在水面上的喷洒技术，使用了

石油醚代替过去使用的苯作为溶剂，从而降低了对于单分子膜的污染，也防止了周围空气和水当中一些不纯净物质对于单分子膜的侵入。尔后，在此表面上方一个精确固定的高度 h 处（一般为几个毫米高度），安装一个内盛干燥剂（硅胶）的圆形金属盒，其底面积大致相当于 10 平方厘米，用一块透水网状物（可用尼龙作成）对着水分蒸发的方向。以下是他们的典型实验数据： $h=2$ 毫米；时间 $t=400$ 秒；温度保持在 25°C 。水汽吸收量 $m=200.0$ 毫克，此时相对应的蒸发比阻 $r=1.28$ 秒/厘米；而在完全相同的条件下，当水汽吸收量 $m=120.0$ 毫克时，所对应的蒸发比阻 $r=3.14$ 秒/厘米。

一旦水面上覆盖有某种特定物质的单分子薄膜后，此时对于它的蒸发阻力进行计算一直沿用两种基本理论：其一是弗克定律所述的著名扩散理论；另一是所谓的“能栅理论”（Theory of the energy barrier）。对于一个扩散过程而言，弗克定律预言，质量传输的速率与覆盖膜的厚度呈负相关，如此水分蒸发阻力将会是覆盖膜厚度的线性函数。这种关系曾为兰米尔等所论述。但适宜于描述宏观扩散现象的弗克定律，对于一个极其微薄的单分子膜并不能作精确的解释。因为根据阿切尔等人的多次试验后得到，当改变碳氢化合物的链长从而使得单分子膜的膜厚发生改变时，这时蒸发阻力和碳氢链的链长（即单分子膜厚度）之间的关系，并不呈现弗克定律所表达的那种线性关系，而是呈指数关系。有鉴于此，他们郑重指出，水分子通过单分子膜阻滞后的传输，虽然在本质上依然是一个扩散过程，但在分子规模水平上，它并不服从弗克定律。于是他们建议采用“能栅理论”去加以表述，即

$$r = \left(\frac{1}{C} \right) e^{\frac{E}{RT}} \quad \text{或}$$

$$\ln r = -\ln C + \frac{E}{RT} \quad (2)$$

式中的 E 代表由实验确定的活动能数值； R 为气体常数； T 为绝对温度； C 被称之为“频率因子”，是一个常数。实验证明，应用“能栅理论”去解释单分子膜对于水分蒸发的阻滞作用时，可以得出更加合理的结论。

(三)

水分从液相到气相的转换，需要有外界提供必要的能量。在温度为 15°C 的平均状况下，每蒸发一克水分，约需 580 卡的热量。随着水分的蒸发，水体分子的动能趋于降低，必然会引起蒸发面温度的下降，这种因为蒸发而致的蒸发面冷却效应，同样也早已为人们所认识。反过来讲，如果在正常条件下，抑制了水分这种从液相向气相的改变，也就是说减小了潜热转换分量，带来的必然结果，是蒸发面温度比不抑制蒸发的相对要高。与自然条件下正常的水分蒸发速度相比较，蒸发受到阻滞的水体，由于潜热消耗的节省，使其保持了更多的热量，分子的平均动能水平下降的也相对较慢。这种下降的幅度，直接取决于抑制水分蒸发能力的大小。当然还须视其它相应的条件，如对流状况，风速大小，太阳总辐射数值与净辐射值，水体的红外辐射以及滞后作用的维持等，但是具决定意义的首推抑制水分蒸发能力的大小。这样，抑制水分蒸发与增加温度，就成为同一个问题在两个方面的具体体现。

对于我国华北平原来说，在早春比日平均温度高出 3°C 左右的数值，则相当于提前该地区的一个节气即半个月，或者这将意味着把此时的华北地区向南推移了近 500 公里。由此看出，它对农业、对于自然环境的改造将具多么重要的价值

了。

抑制水分蒸发实现了人为的对于潜热转换的调整，导致了温度的提高。从这一效应出发，人们鉴于改造自然的要求，也为了克服单分子膜在水面上所产生的几乎是不可逾越的障碍，在本世纪五十年代后期至六十年代初期，出现了四个令人鼓舞的变化：其一是从水面转到土面；其二是从单分子膜转到多分子膜；其三是从早期单独节约水分转到作物育苗，提高土壤温度，保持土壤水分、改良土壤、固沙、水土保持、改造盐碱土等多种用途上来；其四，所使用的原料也从最早所要求的纯净的高碳醇和高碳酸，扩大到许多有关的成膜物质及混合物，以成本更为低廉去抵消用量的加大（因由单分子膜变化到多分子膜）。这些引人注目的变化，无论从理论上，还是从应用上，都提出了许多更新的问题，扩大了原来研究的范围，突破了一些长期进展缓慢的限制。

在使用抑制水分蒸发增加温度这一方向上，日本曾报道了他们所使用的“欧依滴”（OED，系一种由天然脂肪酸制成的高碳烷基醚型乳状液），通过抑制蒸发，从而达到提高水稻田温度，为发展日本的水稻种植作出了贡献。此外，如美国的“因加普”（ENCAP）和“科拉斯”（COLAS）；苏联的“涅罗金”；东德的“依—301”（E₃₀₁）；比利时的“胡莫菲纳”（Humofina）；澳大利亚的“英达尔”（Endur）；利比亚的“尤尼索尔”（Unisol），以及罗马尼亚、法国等各种名称的制剂，都基本上导源于上面已经述及的原理，并基本上体现了上述的四个变化。我国于一九七〇年研制成功的“土面增温剂”，亦是从调节潜热转换、提高土壤温度、保持水分的方向着眼，达到改造自然、促进农业生产的目的。因此它具有增温、保墒、压碱、改良土壤、抗御风吹水蚀等多种用途。

除开应用碳氢化合物多分子膜在土壤表面上所产生的增

温效应外，不少国家还将这类化学覆盖物用到更加广阔的领域，如治理沙漠、进行水土保持防止土壤侵蚀、加快植树种草的速度、提高林木的成活率、土壤改良、改造盐碱土、发展园艺作物、延长农药与除草剂的寿命等，分别取得了可观的成绩。我国的土面增温剂，以应用于农作物及林木的早春育苗为中心，在世界这一领域中具有独特的地位，收到了显著的功效，并为一些国家所注目。

二、土面增温剂的应用

(一)

土面增温剂的基本功能，在于通过对潜热转换的调节，从而实现对于土壤温度的提高。农田土壤温度的提高，为植物的根系发育创造了相当有利的环境，特别是对于农作物的播种与出苗期，土壤温度的合适与否，在很大程度上起着决定性的作用。既然种子从萌发到出苗期间，土壤温度对于农作物生长具有决定性的影响。因此探索土壤温度变化规律、掌握增加土壤温度的途径、明了增加土壤温度后对于生物的效应，就成为土面增温剂应用中必须重视的问题了。

在地球表层各处所进行的地温测定表明它具有明显的日变化及年变化的周期性特点。通过热传导方程的计算，这种周期变化影响的地面以下深度相当浅。

除了木本植物外，对于绝大多数一年生的禾本科、豆科作物来说，它们的根系均恰恰位于地表下这个极浅的层次中，也就是说位于地温周期性变化最剧烈的根系带内。于是土壤温度的周期性变化以及这种变化的强度，均对根的生长从而也对于整个农作物的生长，产生极为显著的影响。

首先，土壤温度对于土壤内的养分与水分的扩散作用速

率有直接的影响,温度的增高,必然导致整个扩散过程的加速。其次,土壤温度的升高,引起了土壤水分粘度系数的变化。水的粘度值随温度增高而减小,同样也意味着水的扩散阻力变小,将使得扩散速率提高。此外,土壤温度的提高,直接地促进了植物根的发育,加速了土壤微生物的活动,加速了土壤中有机物的分解,提高了植物养分的可给性,促进了酶的活性等,这均对植物生长起直接影响。

鉴于上述,探索一下土壤温度的变化规律,并且阐明这种规律对于作物生长与其产量的影响,就成为十分必要的了。由此即可引伸到土面增温剂应用时的农田价值及其作用机理。为了叙述上的方便,先规定几个符号的含义如下:

x : 表示土壤深度。从土壤表面开始向下分别代表 0, 5, 10, 15, 20, 40, 80, 160(厘米)等各个深度;

R_0 : 代表在土壤表面(0 厘米)处温度的日较差($^{\circ}\text{C}$);

R_x : 代表在深度 x 处,温度的日较差($^{\circ}\text{C}$);

Y : 作物的生物学产量,以克/米²的干物质重量去表示;

T_s : 土壤温度($^{\circ}\text{C}$)。

中国科学院地理研究所热量水分平衡组,曾在河北省石

表 1 所测的土壤温度资料

$\Delta T_p(R_x) \backslash x$ 日 期	0	5	10	15	20	40	80	160
4月11日	18.2	7.5	5.0	3.4	2.8	0.2	0.2	0.1
4月12日	10.6	6.8	2.8	1.8	1.3	0.2	0.1	0
4月13日	9.4	3.7	1.8	1.7	0.5	0.4	0.1	0
4月14日	10.0	2.9	2.1	1.6	1.1	0.5	0.1	0
4月15日	4.6	2.4	2.1	0.7	0.4	0.2	0.1	0

家庄耕作灌溉研究所进行了冬小麦的农田综合试验，这里取1963年4月所获的经灌溉处理地块的资料，加以必要的分析。首先应当指出，对于日期的选择完全是随机的，因此所具的代表性是可信的。现列资料如表1。由表1的资料，经过适当整理，可以得出表2所列的具有可比性的数值：

表2 R_x/R_0 之比值表

日 期	R_0/R_0	R_5/R_0	R_{10}/R_0	R_{15}/R_0	R_{20}/R_0	R_{40}/R_0	R_{60}/R_0	R_{160}/R_0
4月11日	1.0	0.412	0.275	0.187	0.154	0.011	0.011	0.005
4月12日	1.0	0.642	0.264	0.170	0.123	0.019	0.009	0.000
4月13日	1.0	0.394	0.191	0.181	0.053	0.043	0.011	0.000
4月14日	1.0	0.290	0.210	0.160	0.110	0.050	0.010	0.000
4月15日	1.0	0.522	0.457	0.152	0.085	0.043	0.022	0.000
平均	1.0	0.452	0.279	0.170	0.105	0.033	0.013	0.001

将表2的数据绘于图1上，可以发现一个很明显的规律。并将该图曲线经过计算之后，得出如下公式：

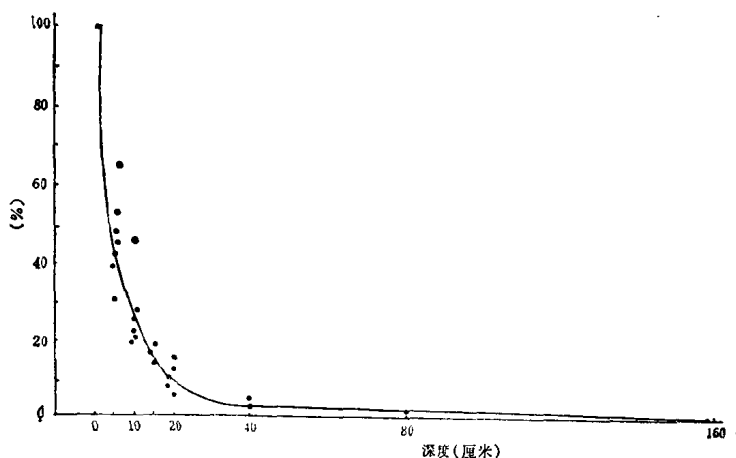


图1 R_x/R_0 与土壤深度 x 之间的关系