

斥水土壤中水热运动模型的应用*

杨 邦 杰¹⁾

(中国科学院生态环境研究中心, 北京 100085)

P. S. Blackwell and D. F. Nicholson

(西澳大利亚农业部)

摘 要

作者运用所建立的斥水土壤中水热运动的数值模型, 模拟分析了以下因素对沟种时苗床水分散失与温度的影响: (1)不同的沟垄尺寸; (2)湿润剂; (3)镇压; (4)沟垄的走向。以此为当地的耕种工程设计提供了依据。一般认为土壤斥水性严重影响产量, 但采用沟种后, 表层的斥水土壤形成的不透水的垄能促进雨水渗入沟中, 又能阻止水分的蒸发, 降低沟中的温度, 有利于种子发育出苗, 从而使不利因素变成有利条件。

关键词 斥水土壤, 数值模拟, 耕种

在西澳大利亚与南澳大利亚大约有 500 万公顷的耕地因土壤的斥水性而减产。单在 Eyre 半岛, 估计每年 12 万公顷土地大约造成 143 万澳元的损失^[5]。

从田间可以观察到, 在斥水土壤中采用沟种时, 机械把斥水土壤推到垄上形成几乎不透水的垄, 雨水从垄上渗入沟中。雨后, 不透水的垄又阻止了水分的散失^[2]。在西澳大利亚这样的干旱-半干旱地区, 保持水分与适当的温度是种子发芽出苗的关键。当地一般利用播种机械的镇压轮形成沟, 这样的沟一般不会有明显的保墒作用。镇压对土壤水分与温度的影响也应研究。

本项工作的目的是作者运用所建立的斥水土壤水热运动的数值模型^[2], 分析沟垄的尺寸、镇压、湿润剂以及沟垄的方位等耕作措施对苗床水分散失与温度的影响, 从而为斥水土壤地区的耕作工程设计提供依据。

1 模型的应用条件

1.1 模型的输入数据

* 本研究得到澳大利亚谷物研究与发展委员会的资助。Murdoch University, CSIRO旱地土壤与作物组提供了小气候测试仪器, 西澳大利亚大学土壤物理实验室协助测定土壤参数, Grant Morrow与David Horwood 协助进行田间试验, 在此一并致谢。

1) 现在的通讯地址是: 中国农业工程研究设计院, 北京100026。

收稿日期: 1995-09-03; 收到修改稿日期: 1996-10-06

模型的输入数据包括:

(1)土壤参数:计算所用的土壤参数包括土壤的水热传导率,土壤水分特征曲线,土壤的蒸发阻力,土壤的颗粒分级^[1,2]。

(2)气象数据:根据当地气象台的记录,选择典型的播种期的气象数据。表1列出了一天(从上午6点

表1 输入的气象数据

Table 1 Input meteorological data

| 时间 | 空气温度 | 露点温度 | 风速 | 风向 | 总辐射 |
|------|-------------|-------------|-------|-----------|---------------------|
| Time | Air | Dew point | Wind | Wind | Global |
| | temperature | temperature | speed | direction | radiation |
| (h) | (°C) | (°C) | (m/s) | (°) | (W/m ²) |
| 1 | 18.3 | 3.9 | 1.11 | 41 | 59.38 |
| 2 | 18.7 | 2.8 | 2.5 | 45 | 216.56 |
| 3 | 19.5 | 1.8 | 3.89 | 78 | 410.41 |
| 4 | 21.5 | 0.8 | 4.72 | 97 | 558.85 |
| 5 | 23.0 | -0.2 | 5.56 | 94 | 698.56 |
| 6 | 24.6 | -1.8 | 3.61 | 91 | 730.00 |
| 7 | 25.8 | -1.5 | 2.5 | 91 | 698.56 |
| 8 | 26.8 | -2.5 | 3.33 | 125 | 565.84 |
| 9 | 27.1 | -2.9 | 3.06 | 118 | 415.65 |
| 10 | 27.2 | -2.9 | 3.33 | 128 | 244.50 |
| 11 | 26.5 | 0.8 | 3.61 | 123 | 70.00 |
| 12 | 21.5 | 1.5 | 2.5 | 136 | 0.0 |
| 13 | 21.0 | 1.5 | 1.39 | 136 | 0.0 |
| 14 | 20.5 | 1.5 | 1.94 | 145 | 0.0 |
| 15 | 20.2 | 1.5 | 1.94 | 139 | 0.0 |
| 16 | 20.0 | 1.5 | 1.67 | 143 | 0.0 |
| 17 | 19.8 | 1.5 | 2.22 | 153 | 0.0 |
| 18 | 19.4 | 1.5 | 3.33 | 146 | 0.0 |
| 19 | 18.9 | 1.5 | 1.11 | 109 | 0.0 |
| 20 | 18.6 | 1.5 | 1.39 | 104 | 0.0 |
| 21 | 18.4 | 1.5 | 1.11 | 104 | 0.0 |
| 22 | 18.2 | 4.0 | 1.11 | 72 | 0.0 |
| 23 | 18.0 | 6.0 | 1.11 | 45 | 0.0 |
| 24 | 17.8 | 8.0 | 1.11 | 41 | 0.0 |

开始)的输入数据,包括气温、湿度(露点温度)、风速与风向,以及太阳辐射。

(3)耕作的几何尺寸:不同的垄高与沟距,以及不同的沟走向(南北向与东西向)。

(4)初值:计算时所采用的有限元网格见文献[2]。输入的各节点初值包括初始的水分与温度(实测)。

1.2 耕作处理

目前采用的耕作处理是在播种的沟中镇压与施加湿润剂。湿润剂可以有效地去除斥水性,有助于雨水入渗但成本太高,仅作为研究而使用。模拟中采用了以下几种组合:

- (1)无湿润剂,不镇压;
- (2)无湿润剂,镇压;
- (3)加湿润剂,不镇压;
- (4)加湿润剂,镇压。

2 模拟计算结果

在西澳大利亚,秋天雨后开始播种,发芽出苗期约6天。模拟计算总时间为6天,从雨后的上午6:00开始,比较不同耕作参数对土壤水分散失(累结蒸发量)及土壤(沟中0.04m深处)温度。模拟计算的结果如下。

2.1 模拟计算的沟中与垄上的蒸发率

图1是模拟计算的沟中与垄上的蒸发率。雨后垄上只有薄薄的一层湿土,水分很快就散失而蒸发率迅速降低。而在沟中则有持续的蒸发率。斥水土壤形成的干土垄能保持土壤水分。

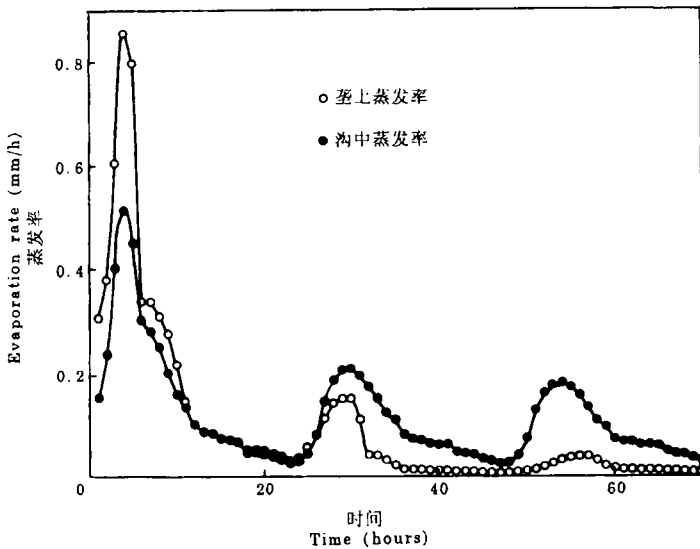


图1 模拟的沟中与垄上的蒸发率

Fig.1 Simulated evaporation rates from ridge and furrow

2.2 垄高与沟距对水分散失的影响

图2为模拟计算的不同垄高与沟距对沟中累积蒸发量的影响。显然，深而窄的沟蒸发少。但从整块地考虑，则宽垄深沟水分蒸发少。宽垄是不透水的，能防止水气的散失。深沟风速小，得到的太阳辐射少，因而蒸发少。

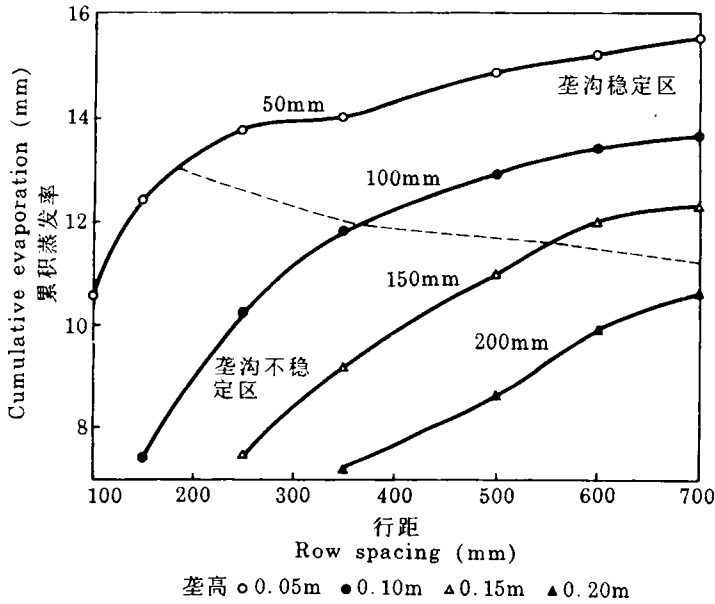


图2 不同垄高与行距对沟中6天累积蒸发量的影响

Fig.2 The effect of row spacings and ridge heights on cumulative evaporation from the furrow during 6 days

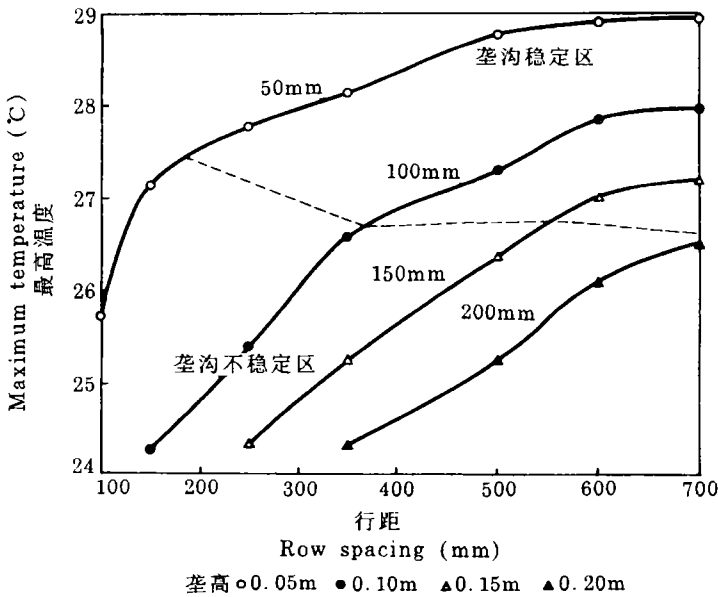


图3 不同垄高与行距对沟中0.04m深处最高温度的影响

Fig.3 The effect of row spacings and ridge heights on maximum soil temperature at 0.04m depth below the furrow

2.3 垄高与沟距对沟中 0.04m 深处(播种深度)土壤温度的影响

图 3 是模拟计算的不同的垄高与沟距对沟中 0.04m 深处(播种深度)土壤温度的影响。与平作比较, 沟种时 0.04m 的处的最高温度低 2℃。

2.4 镇压与湿润剂对累积蒸发量与土壤温度的影响

如图 4 所示: 模拟所采用的沟垄尺寸为垄高 0.10m, 沟距为 0.35m 的南北向沟垄。不镇

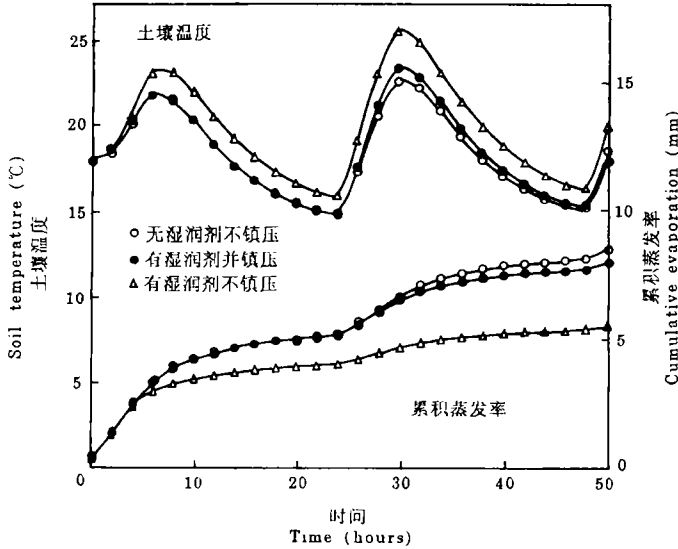


图4 湿润剂与镇压对沟中累积蒸发量与0.04m深处土壤温度的影响

Fig.4 The effect of compaction and wetting agent on cumulative evaporation from the furrow and soil temperature at 0.04m depth below the furrow.

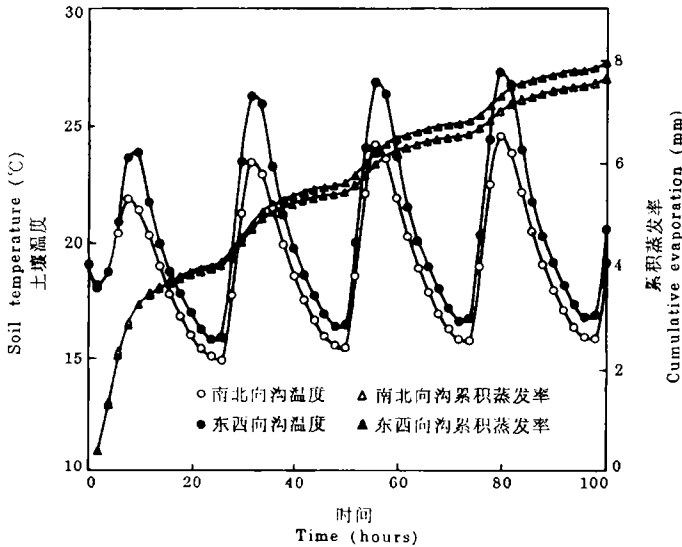


图5 垄沟走向对沟中累积蒸发量与0.04m深处土壤温度的影响

Fig.5 The effect of ridge orientation on cumulative evaporation from the furrow and soil temperature at 0.04m below the furrow.

压时,采用湿润剂与不用湿润剂相比,140小时的模拟中累积蒸发量少30%,而温度增加了2℃。这是因为湿润剂去除了斥水性,土壤同一般可湿润土壤,表层松土很快风干而降低水分散失,有更多的能量用于增高土壤温度。

镇压会增大土壤的导水率与导热率,用湿润剂时镇压则会增大累积蒸发量,土壤温度会低一些。即沟中不镇压而施加湿润剂有利于保墒。

2.5 方位的影响

如图5所示:用垄高0.10m,沟距0.35m的南北向沟与东西向沟比较,南北向沟沟中土壤的最高温度低2—3℃,而累积蒸发量也小些。东西向沟得到更多的太阳辐射。

我们作了进一步的田间试验来证实以上结果。以便推广。91年秋,在田间布置了示范区,对比以下方案:

- (1)传统的镇压轮形成的浅沟种相当于平作;
- (2)较深沟(垄高0.075m,沟距0.25m);
- (3)宽垄深沟(垄高0.10m,沟距0.5m);
- (4)沟中用湿润剂或粘土;

实验说明宽垄深沟,沟中用湿润剂或粘土时出苗最好。考虑到产量,92—93年的田间试验比较了不同沟距对大麦产量的影响,选择了0.2—0.3m的沟距^[4]。

在这样干旱,炎热,风大的斥水砂土地区推广沟种还有一系列的问题需要解决^[3]。

3 结 论

1. 土壤斥水性不利于农业生产,但采用沟种时斥水性转化为有利条件:表层的斥水土壤形成的干垄有利于雨水的收集又防止水分的散失,降低沟中的温度。由于垄上为干土,杂草也不能在上面生长。但干垄不能太宽,否则减少播种量。

2. 深沟有利于减少水分散失,但干砂有一定的休止角(约为32°)。图2与图3虚线上方为稳定的高宽比。沟的稳定性除了与干砂的休止角有关之外,还与残茬有关。残茬有利于保持可能的稳定的深沟,并能防止风蚀与水蚀。田间试验表明,没有残茬的沟很快随水分损失而让风刮平或让雨水冲平。

3. 从保持水分与维持沟中较低温度出发,以下要点在设计耕作工程时应考虑:

(1)深沟宽垄对保持水分与降低土壤温度是有用的。用垄高0.075m,沟距0.25m的沟种与传统的浅沟(平作)比较,6天之内沟中累积蒸发量少3mm,而最高温度低5℃。这对该地区干旱而气温高的播种期很有意义;

- (2)沟中用湿润剂有利于保墒;
- (3)沟中镇压有利于降低种子区的温度而蒸发率会增大;
- (4)南北向沟优于东西向沟;
- (5)残茬有利于保持稳定的沟,减轻风蚀与水蚀。

4. 作者运用所发展的模型进行模拟讨论了在西澳大利亚斥水砂土区进行沟种的一些实践问题。以上的结果说明,模拟分析能为耕作工程设计提供有用的建议。

参 考 文 献

1. 杨邦杰, 1989: 土壤蒸发过程的数值模型及其应用. 学术书刊出版社, 北京.
2. 杨邦杰, Blackwell P. S., Nicholson D. F., 1996: 斥水土壤中的水热运动规律与数值模型. 土壤学报, 第 33 卷 4 期, 351—359 页.
3. Blackwell P. S., Nicholson D. F., Morrow G. F., Webster A. and Yang B. J. (杨邦杰), 1994: Processes induced by furrow sowing on water repellent sand. Proceeding of 2nd National water repellency workshop, Department of Agriculture of Western Australia and Grain Research & Development Corporation, Perth, Australia.
4. Blackwell P. S., Morrow G. F., Nicholson D. F., Webster T., 1994: Effects of furrow sowing design for crop production on water repellent sands—furrow spacing and seeding rate, firming, surfactance and water absorbing gels. Proceeding of 2nd National water repellency workshop Department of Agriculture of Western Australia and Grain Research & Development Corporation, Perth, Australia.
5. Wetherby K. G. 1984: The extent and significance of water repellent sands on Eyre peninsula. Technical Report No. 47. South Australia Department of Agriculture.

APPLICATION OF THE MODEL OF HEAT AND WATER MOVEMENT IN WATER-REPELLENT SOILS

Yang Bangjie

(*Research Center for Eco-environmental Sciences, Academia Sinica, Beijing 100085*)

P. S. Blackwell and D. F. Nicholson

(*Department of Agriculture, Western Australia*)

Summary

A simulation study of the effects of some factors, such as row spacing, ridge height, wetting agent, compaction and the furrow orientation, on the evaporation and soil temperature from water-repellent soils was carried out with the model of heat and water movement in water-repellent soils. Water repellency is a problem for agricultural soils, but furrow cultivation could increase rainfall runoff and infiltration into the furrow, which would make the water-repellent problems turn into an advantage for germination.

Key words Water repellent soil, Tillage, Numerical model