

秸秆覆盖条件下土壤水分蒸发的动力学模型^{*}

高鹏程, 张国云, 孙平阳, 张一平

(西北农林科技大学 资源环境学院, 陕西 杨凌 712100)

[摘 要] 通过室内模拟试验, 建立了不同秸秆覆盖量下的土壤水分蒸发动力学模型, 并对不同水分条件下秸秆覆盖量与土壤水分蒸发的关系进行了研究。结果表明, 土壤水分累计蒸发量 W 与时间 t 的关系为 $W = a \cdot t^b$, 当初始含水量较高时, 秸秆覆盖的保水效果十分明显, 而且秸秆覆盖量越多, 保水效果越好; 当初始含水量较低时, 秸秆覆盖的保水效果更加显著, 但其保水效果与秸秆覆盖量的多少关系不大。

[关键词] 土壤水分蒸发; 秸秆覆盖; 动力学模型

[中图分类号] S152.7⁺3

[文献标识码] A

[文章编号] 1671-9387(2004)10-0055-04

水分是旱地农业生产的主要限制因子, 我国北方旱地农田 50% 左右的水分通过蒸发损失^[1]。为了减少由土表蒸发引起的水分的无效损失, 生产中常采用土壤表面覆盖的方法。覆盖减少了土壤水分的无效蒸发, 提高了作物水分利用效率。生产中常用的覆盖材料有塑料薄膜和作物秸秆, 塑料薄膜已被广泛应用于干旱半干旱农业生产中, 对该区农田土壤水分利用效率及粮食产量的提高有相当重要的意义^[2,3]。但塑料薄膜不易降解, 会对土壤造成污染^[4], 且地膜覆盖不利于降水下渗^[5,6], 与秸秆覆盖相比, 投资也较大^[7]。而作物秸秆覆盖除了具有抑制土壤

蒸发, 提高作物水分利用效率、增加作物产量^[8]的作用外, 还具有培肥改土、协调养分供应、调节地温、增加降水入渗和减少地表径流等作用^[9~11], 因此, 秸秆覆盖有利于进行可持续农业生产。目前, 对秸秆覆盖条件下土壤水分蒸发的动力学模型研究很少, 故本研究通过室内模拟试验, 对秸秆覆盖下的土壤水分蒸发动力学进行了研究。

1 材料与方法

供试土壤为黄绵土, 取自陕西省米脂县, 其土壤物理性状见表 1。

表 1 供试土壤物理性状

Table 1 The physical character of the soil in the trial

有机质/ (g · kg ⁻¹) Organic manure	1.0~0.05 mm 砂粒/% Sand	0.05~0.001 mm 粉粒/% Loam	< 0.001 mm 粘粒/% Clay	pH	田间持水量/ (g · kg ⁻¹) Field capacity	凋萎系数/ (g · kg ⁻¹) Wilting percentage
5.4	25.1	65.2	9.0	8.1	174.3	56.5

将土样风干过 2 mm 筛, 取 3 份土样, 加入不同量的水, 使土壤含水量 (w) 分别为 80, 120 和 160 g/kg。用内径 15 cm, 高 15 cm 封底的 PVC 管作为容器, 分别装入干重为 3 000 g 的 3 种含水量的土壤, 控制土壤容重为 1.2 g/cm³, 加入覆盖材料, 放入温度为 28~30 °C 的 3 m × 5 m 电控恒温室内, 室内空气相对湿度维持在 30%~40%。以干制冰草秸秆为覆盖材料(陕北主要秸秆覆盖材料为玉米秆, 考虑到玉米秆直径太大, 在室内不易使覆盖厚度均匀,

故本试验选用秸秆直径仅为 2 mm 的冰草), 将冰草秸秆截成 1 cm 长供用。每种含水量土壤设 4 种处理: ①对照(不覆草); ②覆草 10 g(覆盖厚度为 4 mm); ③覆草 20 g(覆盖厚度为 8 mm); ④覆草 30 g(覆盖厚度为 12 mm)。每处理设 3 个重复。分别于试验开始后 2, 17, 29, 41, 53, 65, 77, 89, 113, 137, 161 和 229 h, 对 PVC 管进行称重, 测定土壤水分损失量。

* [收稿日期] 2003-11-28

[基金项目] 西北农林科技大学青年专项基金(232111)

[作者简介] 高鹏程(1969-), 男, 陕西米脂人, 助理研究员, 博士, 主要从事环境保护和旱地农业研究。

2 结果与分析

2.1 不同秸秆覆盖量下土壤水分蒸发动力学曲线

不同秸秆覆盖量下土壤水分累积蒸发量与时间的关系曲线如图 1 所示。由图 1 可知,所有处理土壤的水分蒸发曲线均呈抛物线,且随时间的推移,土壤蒸发速率降低。对于同一土壤含水量处理,在同一时

间,所有覆盖处理的土壤水分蒸发量均小于对照,说明覆盖对土壤水分保持有较好的效果。这是由于秸秆覆盖给土壤表面设置了一层物理阻隔,切断了蒸发面与下层土壤的毛管联系,减弱了土壤空气与大气之间的乱流交换强度,从而有效地抑制了土壤水分蒸发,从而达到保水的目的。

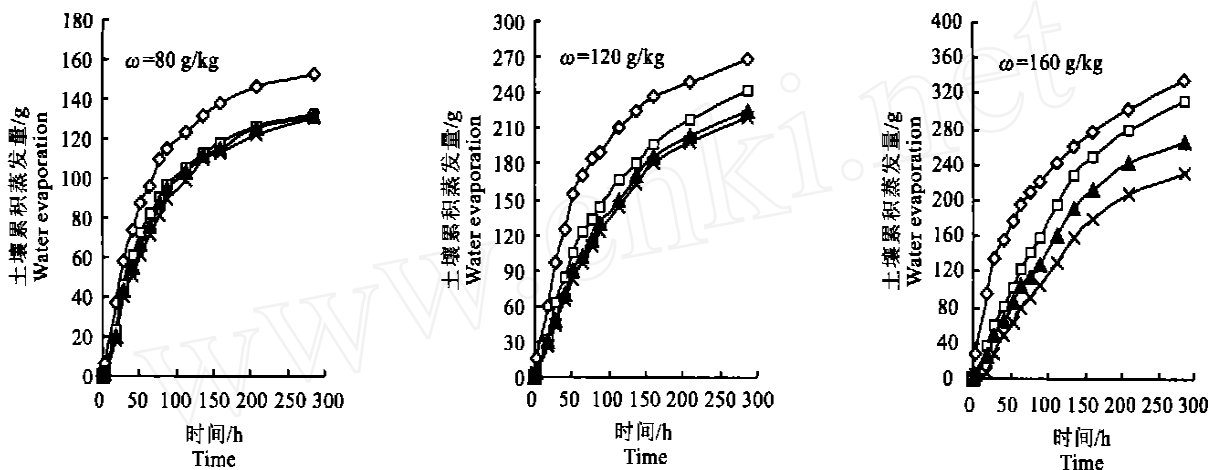


图 1 不同秸秆覆盖量下的土壤水分蒸发动力学曲线

Fig. 1 The dynamic curves of soil moisture evaporation with varied quantity of stalks

-◇- . CK; -□- . 10 g; -▲- . 20 g; -×- . 30 g

由图 1 还可看出,当土壤初始含水量较小(80 g/kg)时,秸秆覆盖量对土壤水分蒸发量的抑制作用差异不大。这是由于当土壤含水量较小时,土壤水分呈毛管断裂状态,水分移动为毛管—薄膜机制和薄膜—扩散机制,下层土壤水分向上移动缓慢,不能及时弥补上层土壤水分的损失,限制了土壤水分的蒸发速率。因此,只要控制上层土壤水分的蒸发即可达到保水的目的。覆盖秸秆后,增大了土壤水分蒸发的阻力,使得土壤水分由表面直接蒸发转变为扩散蒸发,从而减少了土壤水分散失。而随着时间的推移,对照处理上层土壤变干,水分散失速率降低,因此覆盖处理与对照的蒸发速率差异缩小。随着土壤初始含水量的增加,秸秆覆盖量对土壤水分蒸发量的抑制作用逐渐明显,秸秆覆盖量越大,土壤水分蒸发量越小。当土壤含水量达 160 g/kg(接近于土壤田间持水量)时,不同秸秆覆盖量处理间的土壤水分累积蒸发量的差异增大。这是由于当土壤含水量较大时,土壤中毛管水呈连续运动状态,下层土壤水分向上运移速度快,可以及时弥补上层土壤水分亏损。覆盖秸秆后,给土壤表面增加了水分蒸发阻滞层,该阻滞层越厚,对土壤水分蒸发的阻滞作用越明显,控制土壤水分损失的效果也就越显著。因此,秸秆覆盖

量越大,土壤水分损失量就越小。

此外,从图 1 中还可看出,在土壤含水量较高(120~160 g/kg)时,各覆盖处理在 0~100 h 时段内控制土壤水分蒸发的效果较好;100 h 以后低量秸秆处理(10 g)的水分累积蒸发量已渐趋近于对照。这一特征尤以土壤含水量为 160 g/kg 时最为明显,表明少量秸秆覆盖保持土壤水分和控制土壤水分蒸发的能力有限,覆盖后仅在短期内可发挥较好的效果。

2.2 不同覆盖量下土壤水分蒸发动力学曲线拟合

利用 3 种常用动力学模型(线性方程、对数方程和指数方程)对不同秸秆覆盖量处理的土壤水分蒸发累积量 W (g) 与时间 t (h) 进行回归拟合,所得拟合方程参数见表 2。由表 2 可知, $W = at^b$, $W = a + b \ln t$ 和 $W = a + bt$ 拟合所得相关系数 r 值均达极显著水平,但比较 3 个拟合式可知,其中 $W = at^b$ 的拟合性最好。本文用 $W = at^b$ 方程来描述土壤水分蒸发过程。当 $t=1$ 时, $W = a$, 表明式中参数 a 为 $t=1$ 即第 1 h 时的土壤水分累积蒸发量。表 2 中,同一土壤含水量时,式 $W = at^b$ 的参数 a 值随秸秆覆盖量的增加而减小,说明在同一含水量下,第 1 h 时的土壤累积蒸发量随秸秆覆盖量的增大而减小,这与图 1 曲

线中所显示的结果相同。

表 2 不同覆盖量下土壤水分蒸发累积量 W (g) 与时间 t (h) 的拟合曲线参数

Table 2 Coefficients of relation models between the quantity of soil moisture evaporation and time covered with varied quantity of stalks

土壤含水量/ (g · kg ⁻¹) Moisture content of soil	秸秆重/g The weight of stalks	$W = a + bt$			$W = at^b$			$W = a + blnt$		
		a	b	c	a	b	c	a	b	c
80	0	51.994	0.467	0.867 8 ^{***}	5.333	0.658	0.974 4 ^{***}	- 38.051	33.172	0.969 0 ^{***}
	10	40.485	0.424	0.871 9 ^{***}	1.923	0.843	0.962 2 ^{***}	- 39.950	29.809	0.962 4 ^{***}
	20	36.241	0.436	0.885 0 ^{***}	1.034	0.969	0.956 9 ^{***}	- 43.570	29.941	0.954 6 ^{***}
	30	32.533	0.440	0.901 1 ^{***}	0.969	0.973	0.962 9 ^{***}	- 44.979	29.478	0.948 1 ^{***}
120	0	88.310	0.811	0.877 3 ^{***}	11.858	0.601	0.982 7 ^{***}	- 64.285	56.691	0.963 8 ^{***}
	10	50.216	0.810	0.933 9 ^{***}	3.077	0.836	0.983 2 ^{***}	- 82.117	51.737	0.937 0 ^{***}
	20	39.176	0.789	0.944 9 ^{***}	2.223	0.882	0.987 3 ^{***}	- 83.456	48.856	0.919 6 ^{***}
	30	35.326	0.778	0.950 4 ^{***}	2.109	0.883	0.989 9 ^{***}	- 83.176	47.578	0.913 6 ^{***}
160	0	108.785	0.949	0.917 2 ^{***}	22.760	0.499	0.992 7 ^{***}	- 58.906	63.689	0.967 3 ^{***}
	10	41.429	1.121	0.961 9 ^{***}	3.203	0.856	0.995 4 ^{***}	- 120.875	66.513	0.896 7 ^{***}
	20	30.749	0.971	0.966 1 ^{***}	2.347	0.882	0.995 6 ^{***}	- 106.737	56.858	0.888 8 ^{***}
	30	16.093	0.873	0.971 1 ^{***}	1.433	0.929	0.968 9 ^{***}	- 100.767	49.457	0.865 1 ^{***}

由式 $W = at^b$ 可得, 土壤水分蒸发速率 $dW/dt = a \cdot b \cdot t^{(b-1)}$, 说明 b 是影响土壤水分蒸发速率的参数。表 2 中所有处理的 b 值均小于 1 而大于 0, 当 $t \geq 1$ 时, b 值增大, $t^{(b-1)}$ 也增大, 说明 dW/dt 与 b 值呈正相关; 当 $t = 1$ 时, $dW/dt = a \cdot b$, 说明 $a \cdot b$ 表示 $t = 1$ 即第 1 h 时的土壤水分蒸发速率。

由 $dW/dt = a \cdot b \cdot t^{(b-1)}$ 可知, 土壤水分蒸发速率与 $a \cdot b$ 和 $t^{(b-1)}$ 有关, 当 $a \cdot b$ 和 $t^{(b-1)}$ 增大时, 土壤水分蒸发速率也增加, 而当 $t \geq 1$ 时, $t^{(b-1)}$ 与 $b-1$ 呈正相关。因此, 在同一时间 ($t \geq 1$ 时), 不同处理的土壤水分蒸发速率 $a \cdot b$ 和 $b-1$ 的大小有关, $a \cdot b$ 值和 $b-1$ 值越大, 土壤水分蒸发速率也越大。同一处理中, $a \cdot b$ 和 $b-1$ 为常数。各处理 $a \cdot b$ 和 $b-1$ 值见表 3。表 3 显示, 在同一土壤含水量处理中, 所有覆盖处理的 $a \cdot b$ 值均远远小于对照, 说明覆盖可明显降低土壤水分前期 (1 h) 的蒸发速率。

尽管在同一土壤含水量处理中, 所有覆盖处理的 $a \cdot b$ 值均远远小于对照, 然而影响土壤水分蒸发速率 dW/dt 的另一项因子 $t^{(b-1)}$ (当 $t \geq 1$ 时) 却是所有覆盖处理大于对照, 而且随着时间的增加, 与对照相比, 其相对增长量越大。所以在同一土壤含水量处理中, 必然存在着某一时刻, 此刻覆盖处理的土壤水分蒸发速率与对照的相同, 称这一时间为土壤水分蒸发速率时间转点 t_t , 即在这一时刻之前, 覆盖处理土壤水分蒸发速率小于对照, 而过了这一时刻, 覆盖处理土壤水分蒸发速率大于对照, 这一状况与图 1 显示的结果相同。由直接蒸发变为土壤水分蒸发时间转点越大, 说明该处理与对照相比, 控制土壤水分

蒸发的效果也越明显。

表 3 不同处理 $a \cdot b$ 值与 $b-1$ 值

Table 3 Value of $a \cdot b$ and $b-1$ of different treatments

土壤含水量/ (g · kg ⁻¹) Moisture content of soil	秸秆重/g Weight of stalks	$a \cdot b$	$b-1$
80	0	3.059	- 0.342
	10	1.621	- 0.157
	20	1.002	- 0.031
	30	0.943	- 0.027
120	0	7.127	- 0.399
	10	2.577	- 0.164
	20	1.961	- 0.118
	30	1.862	- 0.117
80	0	11.357	- 0.501
	10	2.742	- 0.144
	20	2.070	- 0.118
	30	1.331	- 0.071

在本试验条件下, 同一土壤初始含水量处理中, 影响不同秸秆覆盖量下土壤水分蒸发速率的主要因子有土壤水分通量及土壤水分含量 (或者说体积含水量), 土壤水分蒸发速率与此二因子呈正相关关系^[12]。秸秆覆盖降低了土壤水分通量, 而随着时间的推移, 对照处理土壤表层变干后, 土壤水分蒸发机理与覆盖处理相同, 也变为薄膜—扩散机制, 蒸发速率大幅下降; 另一方面, 由于试验初期对照处理土壤水分蒸发速率大于覆盖处理, 对照处理比覆盖处理蒸发损失掉了更多的水分, 因此覆盖处理 PVC 管中剩余的土壤水分总量要大于对照, 而且只要对照蒸发速率大于覆盖处理的现状不变, 二者之间的土壤

水分总量差值就会越来越大。因此,必然会出现一个时间点,在此时间点,对照处理与覆盖处理的土壤水分蒸发速率相同;而在此时间点之后,对照处理土壤水分蒸发速率小于覆盖处理,此时间点即为上文提到的土壤水分蒸发速率时间转点 t_t ,这也说明了土壤水分蒸发速率时间转点存在的合理性。现求出不同处理的土壤水分蒸发速率时间转点 t_t ,见表 4。

表 4 不同处理土壤蒸发速度时间转点

Table 4 The time turning point of the soil evaporation velocity under different treatments

土壤含水量/ ($\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$) Moisture content of soil	秸秆重/g Weight of stalks	t_t/h
80	10	30 96
	20	36 19
	30	41 92
120	10	75 85
	20	98 72
	30	116 71
160	10	53 56
	20	85 17
	30	146 32

由表 4 可知,同一土壤含水量处理中,随着秸秆覆盖量的增加,土壤蒸发速率时间转点也越大,表明随着秸秆覆盖量的增加,保持土壤水分的效果也越明显。土壤含水量较低时(80 g/kg),秸秆覆盖量对土壤蒸发速率时间转点的影响较小;土壤含水量较

高时(160 g/kg),秸秆覆盖量增多,土壤蒸发速率时间转点明显增大,这印证了图 1 中所显示的高土壤含水量时,各覆盖处理在 0~100 h 时段内控制土壤水分蒸发效果较好的试验结果。

3 结 论

1) 秸秆覆盖下的土壤水分蒸发动力学模型为 $W = at^b$ 。式中,参数 a 表示 $t=1$ 即第 1 h 时的土壤水分累积蒸发量; b 是影响土壤水分蒸发速率的参数,当 $t \geq 1$ 时, dW/dt 与 b 值呈正相关关系; $a \cdot b$ 表示 $t=1$ 即第 1 h 时的土壤水分蒸发速率。

2) 所有覆盖处理与对照相比,均存在着土壤水分蒸发速率时间转点 t_t , t_t 与土壤含水量与秸秆覆盖量有关,秸秆覆盖量越多, t_t 越大;土壤含水量较高时(120 或 160 g/kg), t_t 也较大。

3) 当初始含水量较高(160 g/kg 和 120 g/kg)时,秸秆覆盖的保水效果十分明显,而且秸秆覆盖量越多,保水效果越好;当初始含水量较低(80 g/kg)时,秸秆覆盖的保水效果则更加显著,但不同秸秆覆盖量间的保水效果差异较小。因此,在生产中采用秸秆覆盖措施时,应根据覆盖时的土壤含水量确定秸秆用量。当土壤含水量不很高时(这种情况在陕北更为常见),应用少量的秸秆覆盖即可达到较好的保墒效果,这样省时、省工、省钱,更易被广大群众接受。

[参考文献]

- [1] 山 仑 黄土高原农业可持续发展的对策[A]. 陕西省农业厅, 陕西省农学会 西部大开发与陕西农业发展研讨会论文集[C]. 西安: 陕西科技出版社, 2000 1- 4
- [2] 李援农, 范立科, 樊惠芳, 等. 地膜覆盖灌水对土壤水分变化及作物生长的影响[J]. 水土保持研究, 2002, 9(2): 45- 47.
- [3] 冷石林, 郭仕峰, 王立祥, 等. 中国北方旱地作物节水增产理论与技术[M]. 北京: 中国农业科技出版社, 1996
- [4] 刘玲玲. 小麦地膜覆盖的白色污染及其防治对策[J]. 麦类作物学报, 2002, 22(4): 20- 21.
- [5] 黄义德, 张自立, 魏风珍, 等. 水稻覆膜旱作的生理生态效应[J]. 应用生态学报, 1999, 10(3): 305- 308
- [6] 王渭玲, 徐福利, 李学俊, 等. 渭北旱塬不同覆盖措施的土壤水分分布特征[J]. 西北农业学报, 2001, 10(3): 56- 58
- [7] 唐兴信. 农业节水技术[M]. 北京: 水利电力出版社, 1992
- [8] 胡 芬, 梅旭荣, 陈尚谨. 秸秆覆盖对玉米农田土壤水分的调控作用[J]. 中国农业气象, 2001, 22(1): 15- 18
- [9] 李新举, 张志国. 秸秆覆盖与秸秆翻压还田效果比较[J]. 国土与自然资源, 1999, (1): 43- 45
- [10] 周凌云. 秸秆覆盖对农田土壤物理条件影响的研究[J]. 农业现代化研究, 1999, 18(5): 311- 314
- [11] 赵聚宝, 梅旭荣, 薛军红, 等. 秸秆覆盖对旱地作物水分利用效率的影响[J]. 中国农业科学, 1996, 29(2): 59- 66
- [12] 李新举, 张志国. 秸秆覆盖对土壤水分蒸发及土壤盐分的影响[J]. 土壤通报, 1999, 30(6): 257- 258

(下转第 62 页)

Processing technology of the grass carp biological beverage

XU Huaide¹, LIU Wei², JIANG Li¹

(1 College of Food Science and Engineering, Northwest Sci-Tech University of Agriculture and Forestry, Yangling, Shaanxi 712100, China;

2 Xi'an Dingjin Food Ltd., Xi'an, Shaanxi 710016, China)

Abstract With enzymatic hydrolysis and fermentation methods, the processing technology of grass carp biological beverage was studied. The results of the orthogonal experiment indicates that the optimum conditions for the papain enzymatic hydrolysis were enzyme concentration (E/S) 8.5 g/kg, temperature 60 °C, pH 7.5, taking time 4 h. Then, the content of amino nitrogen was increased from 7.0 mg/kg to 30.1 mg/kg. It increased 4 times plus. But, the amino acid and polypeptides of bitter were brought from enzymatic hydrolysis juice of grass carp protein. So, fermentation method of S. t and L. b were taken to decreased bitter and brought delicious flavour. The result showed that S. t and L. b concentration were 30 g/kg, fermented as 40 °C, taking time 4 h. Also, grass carp juice would be delicious. Product ingredients were 80 g/kg of the grass carp juice of enzymatic hydrolysis and fermented, 30 g/kg of amyloamaltose, 45 g/kg of sucrose, 3 g/kg of stabilizer, some citric acid and flavour material.

Key words: grass carp; amino nitrogen; biological beverage; enzymatic hydrolysis; fermentation

(上接第 58 页)

Dynamics model of moisture evaporation of soil covered by stalks

GAO Peng-cheng, ZHANG Guo-yun, SUN Ping-yang, ZHANG Yi-ping

(College of Resources and Environment, Northwest Sci-Tech University of Agriculture and Forestry, Yangling, Shaanxi 712100, China)

Abstract The Dynamical models of soil moisture evaporation under conditions with varied quantity of crop stalk mulch were developed on simulative trial in lab, and the relation of soil moisture evaporation to the quantity of stalks applied under different moisture contents was studied. The result showed that the relationship of the soil water evaporation (W) and the time (t) is $W = a \cdot t^b$, the effect of crop stalk mulch on preventing water loss is visible, the more the quantity of crop stalk mulch is applied, the more visible the effect of water conversation is when the initial soil moisture content was high; and the effect of water conversation is greater when the initial soil moisture content was little, however, there is almost no relation between the effect of water conversation and the quantity of crop stalk mulch.

Key words: soil moisture evaporation; mulching; dynamical models