

土壤水资源开发利用研究

夏自强,李琼芳

(河海大学水文水资源及环境学院,江苏 南京 210098)

摘要 以控制土壤蒸发和植物的无效散发为目的,提出了土壤水资源开发利用的方法.利用地中蒸渗仪的实验资料分析了各种覆盖种植方法的节水效益,证实了土壤水资源开发利用对于旱作农业具有非常重要的意义.

关键词 土壤水资源 蒸发控制 农业节水

中图分类号 TV213

文献标识码 A

文章编号 1000-1980(2001)06-0041-05

可开发利用的土壤水资源的资源量是很大的,但由于土壤水资源的特殊性,土壤水资源不可能象地表、地下水资源一样直接为人类所取用,而是通过一些间接的方法来开发利用的.土壤水资源开发利用的对象是土壤的无效蒸发和植物的无效散发的水量,目的就是要将未经利用直接由土壤进入大气及对植物生长发育不起作用从叶面散发进入大气的那一部分水资源量变成对人类经济活动起作用的水资源.开发利用土壤水资源的主要途径为控制土壤蒸发和无效的植物散发,建立与土壤水资源的时空分布特征相适应的合理的种植制度,减少无效的土壤蒸发和植物散发及把无效的蒸散发变为有效的植物散发.

1 土壤无效蒸发的控制

1.1 土壤蒸发控制的意义

以人为的方法来控制土壤的无效蒸发,保持土壤水分以供给作物和植被的散发需求是土壤水资源开发利用与保护的重要方法.土壤的无效蒸发有两个阶段,一是休闲期的土壤蒸发,二是作物生长发育期的棵间土壤蒸发,而大量的土壤无效蒸发是发生在休闲期和作物的苗期.不同地区的不同作物,它们的休闲期和苗期在时间上是不同的,像南方地区,一般种有两季或三季作物,休闲期较短,而苗期较长.而北方低温地区,一般种一季或两季,休闲期的土壤蒸发占全年总蒸散发量的 60% 以上^[1].图 1 是淮河水系遂平以上流域的土壤蓄水量的变化过程,从图上可以看出,在作物收获、播种的 6 月和 10 月,土壤的蓄水量是很大的,特别是 10 月份到次年 2 月份,冬小麦在漫长的苗期,土壤蓄水量处于持续的消退期,在这期间,除了蒸发期间的 100 多毫米的降水补给外,土壤蓄水量也蒸发了 100 多毫米.而在作物的旺长期 3~5 月份土壤的蓄水量很小,到了 5 月底,土壤蓄水量是一年中最低的时候,因而在作物旺长的季节往往需要引地表和地下水灌溉,人工补充土壤水以满足作物生长的需求.从图 1 可以看出,如果能控制休闲期和作物苗期的土壤蒸发,把休闲期和苗期的土壤蒸发的水分保持在土壤中,以满足作物长期的需求,则可以减少或避免引用地表和地下水来灌溉,达到开发利用土壤水资源的目的.

1.2 砂、砾石和块石覆盖种植对土壤蒸发的控制作用

在干旱季节常可以见到块石的周围生机盎然地生长着一圈灌木和野草,而在石块的远处地面上植物枯萎或不存在植被,搬开石块会发现在干燥的土地上只有石头底下的土壤是湿润的.这一常见的自然现象揭示了块石对土壤蒸发的控制和对土壤含水量的保护作用,并清楚地表明了土壤蒸发控制的重要意义,即石头覆盖地面时可以控制土壤的蒸发、保持土壤水分以供植被生长的需求.

以砂、砾石、块石覆盖作物的棵间或林果树棵间的土壤时能起到很好蒸发控制的作用,一方面,这种覆盖改变了表层土壤的结构,改变了表层土壤固、液、气三相的比例,使表层土壤的孔隙变大,而毛细孔隙减少,有

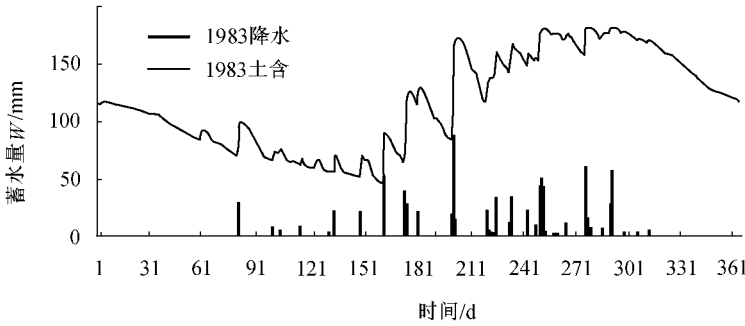


图 1 遂平以上流域 1983 年土壤蓄水量逐日变化过程线

Fig.1 Daily simulated soil water storage processes for the catchment above Suiping of Huaihe River Basin

日晒后的板结,提高了降水入渗率.另一方面秸秆的覆盖隔断了土壤表面同大气间直接的水分联系,减弱了土壤空气与大气之间的乱流交换强度,抑制了土壤蒸发.图 2 是河海大学徐州汉王实验基地观测的表土层土壤含水量的变化过程,秸秆覆盖条件下表层土壤含水量要明显的高于无覆盖条件下表层土壤含水量.根据实验的结果表明,在休闲期秸秆覆盖可控制土壤蒸发的 40% ~ 50%,而在作物生长期可控制土壤蒸发的 30% 左右.

1.4 地膜覆盖

地膜覆盖种植具有增温、节水、早熟和增产作用,是近年来得到推广的一种具有很高经济效益的种植方法^[2].地膜对土壤的覆盖在土壤包气带中形成了一个相对独立的水分循环系统,这个系统与大气间同样存在着水分交换和热量交换,只是对水分交换和热量交换进行了有效的控制.图 3 是汉王实验基地大田地膜覆盖种植试验采用的覆盖方法,这种方法覆盖面积达 90% 左右.膜下土壤的降水补给主要由未覆盖的沟中积水下渗、侧渗及沿作物杆茎的入渗形成,土壤系统对大气的水分输送主要为植物散发和沟中的土壤蒸发,膜下的土壤水分除气体膨胀时有很少一部分从孔口进入大气外,大部分水汽在膜下凝结而重新滴入土壤,形成膜下的水分循环.

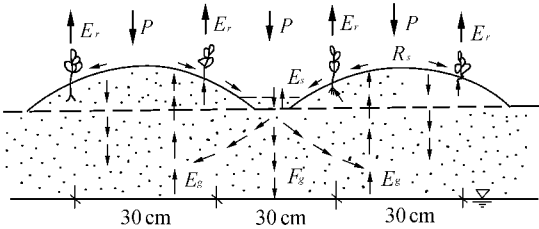


图 3 大田地膜覆盖条件下水分交换示意图

Fig.3 Water exchange under different mulch measures

膜的 6 号仪土壤含水量消退快,土壤蒸发 5 号仪很小,土壤水分得到很好的保护.在作物旺长期,由于 5 号仪的作物在苗期有很好的水分和温度环境,作物发育好,其蒸散量比 6 号仪要大,达到了保持休闲期和苗期的土壤水分以供作物旺长期需求的目的^[3].

为分析地膜覆盖种植的节水作用,可采用包气带水量平衡方程:

$$E = P + E_g + I - R_s - F_g - (W_t - W_0)$$

利于表层土壤的入渗和减少土壤蒸发.另一方面,由于沙、石的热性质与土壤不同,沙、石的热容量小,夜间温度低,增加了夜间土壤中的水汽和大气中的水汽在沙、石表面的凝结,使土壤表层的水分得到更多的补充和保护.沙、石覆盖种植是我国西北干旱地区农民使用的最古老的覆盖种植方法,有非常好的保墒作用和增产效益.

1.3 秸秆覆盖

秸秆覆盖是将作物的秸秆或其粉碎物覆盖在耕地的土壤表面,农田覆盖上一层秸秆后可以使土壤表面免受水滴的冲击和

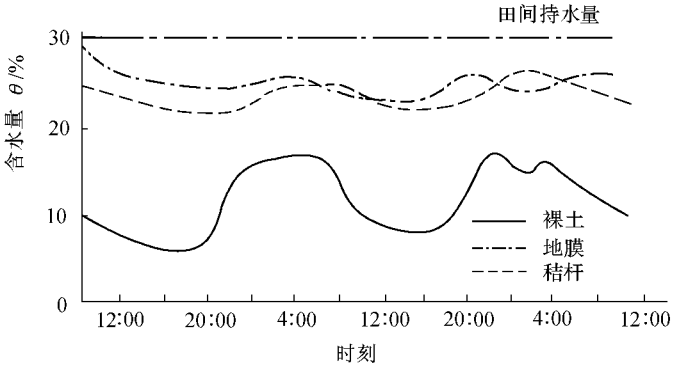


图 2 1994 年 3 月 23 ~ 25 日北场大田地面含水量过程

Fig.2 Surface soil water content processes at northern Hanwang experimental site during March 23 - 25, 1994

为了深入地探讨地膜覆盖对蒸发的控制及对土壤水的保护作用,在汉王实验基地有很好的水量平衡观测条件的野外地中蒸渗仪中进行了盖膜对比观测试验,蒸渗仪的表面积为 1 m²,3,8 号仪的地下水埋深为 1.5 m,4,7 号仪的地下水埋深为 2.5 m,5,6 号仪的地下水埋深为 3.5 m.3,4,5 号仪为地膜全年覆盖,6,7,8 号仪为裸地,种植春玉米.实验证明,在休闲期和苗期地膜覆盖对土壤蒸发的控制达 80% ~ 90%.由表 1 可见,在无降雨补给的条件下,盖膜的 5 号仪在休闲期和苗期土壤含水量消退缓慢,含水量变化小,而未盖

式中： P ——时段降水量； E ——地面总蒸散发量； E_g ——潜水对土壤水的补给量； R_s ——地面径流； I ——灌溉补给量； F_g ——潜水补给量； W_0, W_t ——时段初、末包气带蓄水量。

表 1 汉王南场 5,6 号蒸渗仪无降水补给时包气带蓄水量变化

Table 1 Suspended water storage variation in the absence of precipitation recharge by lysimeter No.5 and No.6 at southern Hanwang experimental site								
生长期	时刻	土壤蓄水量/mm			连续无雨 时间/d	蒸散发量/mm		
		5 号仪	6 号仪	差 值		5 号仪	6 号仪	差 值
休闲期	3 月 11 日	1 107.2	1 047.0	60.2	27	10	49	- 39
	4 月 6 日	1 097.0	998.0	99.0				
苗 期	4 月 21 日	1 159.8	1 083.7	76.1	10	0	48.3	- 48.3
	5 月 1 日	1 160.8	1 035.4	125.4				
旺盛期	5 月 16 日	1 167.8	1 047.0	120.8	20	89.3	48.0	41.3
	6 月 6 日	1 078.5	999.0	79.5				

由表 2 可见,盖膜的 3,4,5 号蒸渗仪的年蒸发总量均小于未盖膜的 6,7,8 号仪,在相同的地下水埋深情况下 3 号仪比 8 号仪可减少蒸发 83 mm,5 号仪比 6 号仪可减少蒸发 84 mm,4 号仪比 7 号仪可减少蒸发 182 mm,表 3 统计了各蒸渗仪的蒸散发特征,产量和单位产量的耗水量.从产量来看,盖膜产量均高于未盖膜的测筒,从生长期的耗水量来看,未盖膜的 6,7,8 号仪是盖膜的 3,4,5 号仪单位产量的耗水量的 2 倍左右.由此可以看出盖膜的节水效益和增产效益是非常明显的.

表 2 南场蒸渗仪 1994 年水量平衡计算

Table 2 Water balance analysis for different lysimetres at southern Hanwang experimental site for 1994									
蒸渗仪号	P	R	E_g	F_g	I	W_0	W_1	E	H_g/m
3	760.9	6.0	246.6	310.3	30	520.3	501.3	740.3	1.5
8	760.9	45.1	140.2	104.3	30	528.1	486.2	823.6	1.5
4	760.9	0.0	32.2	175.5	150	740.6	826.7	681.5	2.5
7	760.9	12.3	38.2	104.0	200	772.8	792.2	863.1	2.5
5	760.9	7.3	54.8	36.7	30	1 037.0	1 143.0	695.7	3.5
6	760.9	1.6	23.0	6.4	30	1 031.0	1 058.0	779.7	3.5

表 3 南场蒸渗仪 1994 年玉米蒸散发耗水量

Table 3 Maize evapotranspiration analysis for different lysimetres at southern Hanwang experimental site for 1994							
蒸渗仪号	年总蒸发 /mm	休闲期 蒸发 /mm	生长期 蒸发 /mm	生长期总 耗水量 /m ³	简产 /kg	单位产量 耗水量 /(m ³ ·kg ⁻¹)	覆盖物
3	740.5	106.9	633.6	0.633	0.94	0.694	地膜
8	823.6	233.6	590.0	0.59	0.39	1.51	裸土
4	681.5	119.8	561.7	0.56	0.97	0.58	地膜
7	863.1	245.2	617.9	0.62	0.65	0.95	裸土
5	695.7	148.5	547.2	0.55	0.82	0.66	地膜
6	779.7	272.3	507.4	0.51	0.38	1.33	裸土

1.5 液体地膜覆盖和吸水剂保水

以乳化沥青、土壤保湿增温剂等液体材料喷洒耕作土壤,在土壤表面形成多分子的网状薄膜,分子膜封闭了土壤孔隙、抑制土壤表面的蒸发,对分散的土壤颗粒能起胶结作用,增加了土壤的团粒结构,改善了土壤的持水能力和保水能力,可以提高土壤的含水量.据刘子英 1989 年天津静海的麦田试验表明,麦田喷洒土壤保湿增湿剂后,在小麦返青时,0 ~ 15 cm 土壤层的含水量提高了 21.1%,孕穗期可提高含水量的 38.1%,同时还具有增温及节水增产的效果.

吸水剂为高吸水性树脂,又称保水剂,为人工合成高分子材料,与水分接触时能吸收和保持相当于自身重量几百倍至几千倍的水分.国内外大量的试验表明,吸水剂能提高土壤的保水和保肥能力、节约农田用水、改良土壤结构、防止土壤侵蚀.杨茂秋的实验成果表明: XJ-1 型吸水剂以 0.5% 的比例加入不同质地的土壤,土壤中吸水剂吸水膨胀,失水收缩可增加土壤孔隙率 7% ~ 11%,土壤含水量可增加 7% ~ 20%.土壤吸水剂

的施放改善了表层土壤的结构,减少了土壤的无效蒸发.

1.6 土壤改良措施

土壤改良措施是通过人工的方法来改变表层土壤的物理结构和土壤的水分物理特性,使之有利于降水入渗和控制土壤蒸发,以达到保墒、节水的目的.土壤改良措施包括农田排水降低地下水位、耕作技术和方法、有机肥料的施放和改土等内容.降低农田地下水位对土壤蒸散发作用的控制是非常明显的,因为不同的地下水埋深其蒸散发有很大的差别.徐州汉王野外实验基地北场三个埋深为 1 m, 2 m, 5 m 的表面积为 10 m^2 的蒸渗仪多年平均观测的结果,其多年平均土壤蒸散发为 935.7 mm, 894.4 mm, 827.3 mm, 地下水埋深为 2 m 时其蒸发比 1 m 的减少 41 mm, 地下水埋深为 5 m 时其蒸散发比 1 m 时减少 118 mm.

在耕作方法上,目前常采用的深松、深耕、免耕等以及其他一些有利蓄水保墒的耕作技术和耕作制度,蔡典雄等人在山西的实验表明,深松、免耕结合秸秆覆盖技术可以增加雨水入渗和提高土壤的蓄水量,其中免耕覆盖夏休闲期 2 m 以上土层可多蓄水 9.9 ~ 11.5 mm, 深松覆盖可多蓄水 24.5 ~ 34.9 mm, 与传统耕作方法相比,免耕和深松播后覆盖土壤水分的利用率可以提高 9.7% ~ 46.8% 和 12.3% ~ 51.8%.

2 植物散发的控制

植物散发影响因素有气象条件、植物的种类和生理状态、土壤含水量等,植物散发是植物根系从土壤中吸收水分,沿杆茎输送到叶面后,由叶面中的气孔向大气散发,散发是植物与土壤间产生物质交换的必要条件之一,植物根系从土壤中吸收的水分一部分满足植物的光合作用和生长发育的需求,一部分从叶面气孔中散发入大气之中,散发入大气中的水量是作物生长发育所消耗的水量的几十甚至几百倍.土壤根系从土壤中吸收的水分主要是耗于叶面散发.对经济作物来说叶面散发可以分为两部分,一部分是作物营养输送和作物生长发育所必需的,另一部分是对作物生长发育不起作用有时甚至是有害的.可以对作物的无效或是不利的散发量进行控制,以减少水资源的消耗,同时达到增产的目的.

2.1 土壤含水量的控制和管理

由植物的散发规律可知,散发量的变化过程同土壤含水量的变化过程是有关系的,图 4 反映了植物散发随土壤含水量变化的关系.当含水量大于某一临界值 θ_k 时,土壤供水充分,植物散发量等于植物的散发能力,当含水量小于 θ_k 时,植物的散发量随着含水量的变小而减少,直到土壤含水量达凋萎含水量时植物散发停止. θ_k 值是小于田间持水量 θ_f 的. θ_k 值的大小同作物种类、生理状态和土壤的水文物理特征有关.由此可知,只要控制土壤含水量,就可以控制植物的散发量.

土壤含水量的控制主要在农业灌溉区域进行,可以根据作物的需水要求,制定合理的灌溉制度,使土壤含水量保持在最佳的状态,以减少作物的棵间蒸发和植物的无效散发.另一方面可采用先进的灌溉方法,如根灌、滴灌等,直接由土壤含水量的变化状态和作物的生长发育情况来确定和控制灌溉时间和灌水量,把土壤含水量控制在最合适的指标上,以达到节约用水和增产增收的目的.

2.2 散发能力的控制

散发能力的控制是通过对叶冠的发育、气孔的开张率和气孔阻力的控制来进行的.其方法是采用化学药品的喷洒来控制作物的散发能力.目前采用的抗旱保水剂主要化学成份为黄腐酸,含有 C, O, H, N, S 等元素,易溶于水和被植物吸收.据中国农科院王一鸣等人的实验表明,喷剂后次日测定,小麦叶片气孔的平均开张度为 $0.6 \mu\text{m}$, 未喷剂对照组为 $2.2 \mu\text{m}$, 小麦的蒸腾强度 9 d 内平均降低 14%, 玉米的蒸腾强度 9 d 内平均降低 40%, 气孔阻力增加了 30%. 喷剂一次有效期为 12 ~ 20 d, 叶片含水率和叶水势均高于对照组.商丘试验区的试验表明,喷洒黄腐酸叶片气孔阻力提高 1.5 ~ 2.4 倍, 蒸腾强度降低 25% ~ 30%, 土壤水分的有效利用率提高了 15.5% ~ 25.5%.

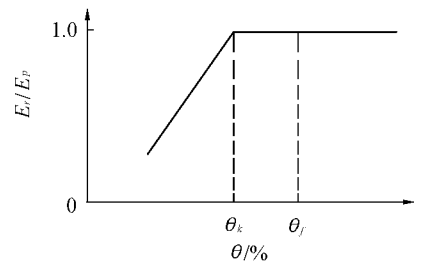


图 4 植物散发规律示意图

Fig.4 Plant transpiration

3 种植措施

3.1 适水种植

适水种植就是根据区域土壤水资源的时间和空间分布特征来确定播种作物的种类及其空间布局和播种

时间.以种植措施控制作物生长过程,使其需水过程与土壤水资源的供水过程相适应.在我国北方的一些地区,采用的冬小麦-夏休闲的种植制度,作物的旺长期在 4,5,6 月份,而休闲期在 7,8,9 月份,旺长期正处于土壤的蓄水量和降雨补给小的月份上,常需要地表和地下水灌溉.而休闲期却是土壤蓄水量和降雨补给最大的月份里,休闲期的土壤蒸发量占全年总水资源量的 60%左右,造成了水资源的浪费.适水种植就是要改变传统的种植方法,研究新的作物品种,使作物的生长及需水过程同土壤水资源的变化过程相适应,以达到充分利用水资源的目的.适水种植是提高土壤水资源的利用效率,减少引水灌溉,避免干旱缺水的重要途径.据王新元等人提供试验资料表明,在北方夏玉米 5 月中下旬播种与 4 月中、下旬播种相比,土壤水的利用效率提高了 28.6%,产量提高了 30.4%.北方 4,5 月份是土壤水资源和土壤降水补给少的月份,7,8 月是土壤水资源丰富的季节,推迟一个月播种的玉米,生长发育期正好同土壤高含水量的阶段相吻合,因而达到了提高水资源利用效率和增收的目的.

3.2 立体种植

立体种植是作物的套作和间作相结合的种植.在同一地块,因种植作物的不同和播种时间的不同,所以作物的生长发育周期也不同.在地面上,作物的杆茎有高有矮,在土壤中作物的根系有浅有深,形成了对土壤水分、光热、肥力和土地资源的充分且有效地利用.立体种植具有很大的增产效益和较高的经济价值,是目前我国农业上正在推广的种植方法.立体种植对土壤水资源具有保护和合理利用两方面的意义.在农田实行高矮作物间作时,通常高杆作物可以减少风速和起遮阳蔽荫的作用,可以减少高杆作物间的土壤蒸发和保护土壤水分.另一方面,旺长期的高杆作物和苗期的低杆作物的根系在土壤中的分布不同,根系深的作物可以利用土壤深层的土壤水分来满足生长发育的需要,而矮杆作物苗期的根系浅,可利用表层土壤的水分.因两种作物的播种期和生长期不同,以达到充分利用土壤水分的目的.同时,由于两茬作物之间没有休闲期,减少了作物休闲期的土壤蒸发,大大的提高了土壤水分的利用效率.

4 结 语

土壤水资源是可以开发利用的,而且具有很大的开发利用潜力.土壤水资源的开发利用是通过农业、牧业和林业措施来完成的.土壤水资源是可以更新的当地水资源,对于农业来说,土壤水资源的利用比地表、地下水资源的利用具有更加重要的意义.土壤水资源的利用比提引地表、地下水资源的灌溉利用,方法更方便和更经济,而且不会对环境和生态造成不利的影响.在地表水资源和地下水资源日益枯竭的今天,土壤水资源的开发利用提供了科学和合理利用水资源的一个新的途径.

参考文献：

[1] 刘昌明,魏忠义.华北平原农业水文及水资源[M].北京 科学出版社,1989.150~156.
[2] 王耀林.地膜覆盖栽培技术大全[M].北京 农业出版社,1988.35~41.
[3] 夏自强,蒋洪庚,李琼芳.地膜覆盖对土壤温度、水分的影响及节水效益[J].河海大学学报,1997,25(2) 39~45.

Development and Utilization of Soil Water Resources

XIA Zi-qiang, LI Qiong-fang

(College of Water Resources and Environment, Hohai Univ., Nanjing 210098, China)

Abstract: Approaches to development and utilization of soil water resources are proposed for the control of water evaporation from soil and ineffective water transpiration from plants. The water saving benefits of different mulch measures are analyzed base on lysimeter data and field experiments. It is verified that development and utilization of soil water resources is of significance to dry crop cultivation.

Key words: soil water resources ; evaporation control ; water saving in agriculture