

吴旗沙打旺草地土壤水分及 生产力特征的研究

梁一民 李代琼 从心海

(中国科学院
水利部 西北水土保持研究所)

提 要

本研究主要在吴旗飞播沙打旺草地,由播种第2年到完全衰败后3、4年的十三年间,土壤水分和产草量实测资料的基础上,论述了在黄土高原半干旱区沙打旺草地土壤水分和生产力特征。沙打旺草地2~9年的产草量是同期封禁天然草地的7.6倍,而总耗水量仅为1.1倍。可见沙打旺草地使大量降水和土壤储水变为有效水用于干物质生产。沙打旺草地在生长旺盛的3~7年,根系不断下伸,使5~8m深层储水降至4%~5%,加剧了深土层水分亏缺,第8~9年后随着沙打旺衰败,土壤水分呈逐渐恢复趋势。衰败3~4年2~3m土层水分可以得到恢复,加之土壤肥力提高,所以衰败沙打旺草地中天然草类繁茂,产草量为对照荒山草地的1.6~3.2倍。文章最后提出了沙打旺合理的种植、利用方式。

关键词: 黄土高原 沙打旺草地 草地生产力 土壤水分

一、试验区自然条件

试验区位于吴旗县的铁边城、王洼子、新寨三个乡,为洛河河源梁岭状丘陵沟壑区。海拔1365~1650m,梁岭起伏,沟壑纵横,水土流失严重,土壤干旱,年平均气温7.5℃,1976~1989年平均年降水量363.8mm。无霜期120天左右。植被属干草原带灌丛草原区。由于开垦、樵采和过牧影响,目前荒山天然植被多为长芒草(*Stipa bungeana*)、地椒(*Thymus mongolicus*)、冷蒿(*Artemisia frigida*)、无茎委陵菜(*Fotentilla acaulis*)、铁杆蒿(*Artemisia guelinii*)等组成的退化的草本植物群落。盖度一般20%~40%,鲜草产量30~60kg/亩。

二、试验研究概况及方法

1976~1979年我们首次在黄土高原半干旱的吴旗飞机播种沙打旺成功。由于沙打旺生长茂密不仅抑制了其它植物生长,而且消耗了大量水分,加之沙打旺种子难以成熟,不能天然更新,因此人们担心沙打旺衰败后因土壤水分不足其它植物难以生长。为此,自1980年我们对沙打旺草地土壤水分、蒸腾、产草量和沙打旺草地群落结构等进行了系统观测、研究。1986年以后着重继续进行沙打旺衰败后土壤水分恢复进程和植被变化及其生产力的观测。

草地生产量测定:每年秋季(9~10月)随机取10~20个或选取2~5个有代表性的1m²样方,采取一次刈割法称其鲜重,取一定鲜重样品烘干,求干鲜比,推算干物质产量。

土壤水分测定：1981~1982年5~10月分别每月测1~3次沙打旺草地及对照荒山3m土层内土壤含水量；1980~1989年每年生长季末（9~10月）测定5m土层含水量（少数几年仅测至3m）及土壤容重。1m内20cm为一层，1m以下50cm一层。每次2个重复。以土壤湿度、容重、土层深度之积计算土层储水量。根据两年土层储水量之差加年降水量求出各年总耗水量。

三、结果及分析

（一）沙打旺草地群落特征

在目前黄土高原人工种植的牧草中，沙打旺种植最广，其最大特点是适应性广、竞争能力强，在半干旱的吴旗荒山各种植被类型中均能正常生长。在黄土深厚的梁峁坡荒山草地中可形成茂密的沙打旺单优群落。当沙打旺密度超过100株/m²时，第3、4年原天然植被大部分植物种被抑制，不能正常生长发育，甚至死亡。沙打旺密度过大，种内亦发生竞争，不断自然稀疏，至第5、6年最大密度一般不超过40~50株/m²，于是天然草类开始恢复。在第8~10年沙打旺开始衰败后，天然草类大多数种已恢复生长，长势及产草量较同期封禁的天然植被还好，其中阿尔泰狗娃花(*Heteroppus altaicus*)、厚穗芨草(*Aneurolepidium dasystachys*)、长芒草、无茎委陵菜等生长尤好。若沙打旺密度开始不超过15株/m²时，天然植被的大多数种可以正常生长发育，构成沙打旺与天然草类混生的复层草本群落，其中禾本科优势种比在荒山草地中生长明显为好。由于具有这种群落学特性，沙打旺目前已成为我国北方大部分地区飞播或人工补播改良退化草场的主要草种之一。

（二）沙打旺草地生产力

沙打旺产草量随水热条件不同差异很大。据有关资料，在水分供应充分的情况下，鲜草产量可达5000kg/亩以上。在半干旱的吴旗，土壤水分限制了沙打旺的产量，由表1可见，试验区内以4年生产草量最高，平均亩产干草为456~651kg（鲜草1267~1914kg），局部地块鲜草产量

表1 吴旗试验区沙打旺草地及荒山草地产量动态

播区	项目	1977年	1978年	1979年	1980年	1981年	1982年	1983年	1984年	1985年	1986年	1987年	1988年	1989年
		产量：干重、kg/亩，降水量：(mm)												
白石咀	年降水量	413.7	401.2	428.4	288	474.4	241.8	303.1	344.5	580.8	277.6	270	426.5	232.9
	沙打旺产量	171	492	651	360	408	206	141	146	15	50	0	0	0
	天然草产量	36	18	0	19	27	29	55	112	120	111	29	71	71
	合计	207	510	651	379	435	235	196	258	135	161	29	71	71
	荒山草地产量	18	21	54	54	79	57	49	47	47	55	9	27	27
王洼子	年降水量	424.7	345.9	427.4	254	329.4	224.4	277.3	440.1	543.6	372.3	187.5	420.2	430.5
	沙打旺产量				456	317	238	219	179	/	/	25	24	7
	天然草产量				19	31	37	84	127	/	/	81	136	224
	合计				475	348	275	303	306	/	/	106	160	231
	荒山草地产量				49	29	37	65	/	/	/	/	55	99

注：白石咀：区系1976年播种，王洼子播区系1977年播种。

可达2500kg。

表1表明: 1. 沙打旺产草量的高低主要决定于它的生物学特性(生长发育节律), 一般以3、4年产量最高。5、6年后明显降低; 2. 在沙打旺生长旺盛时期, 前一年和当年降水量的多少对沙打旺产量有一定影响, 如1980年为较干旱年份, 1981年为丰水年, 白石咀播区5年生沙打旺产量比第6年低。但由于沙打旺有发达的根系, 不断向下延伸吸收深土层储水, 所以即使在较干旱的年份, 仍能保持较高的产草量, 如1980年王洼子播区年降水量仅254mm(前一年降水量较高), 但4年生沙打旺产草量仍达456kg(干重), 连同其中的天然草类, 其产量为对照荒山草地(封禁4年)的9.7倍。荒山草地的产量随降水量有较大波动。如白石咀播区丰水年荒山草地产量可达67~79kg/亩(干重), 在连续两年干旱的情况下, 1987年产草量(干重)仅9kg/亩; 3. 随着沙打旺的衰败, 第8、9年开始, 沙打旺草地中的天然草类生长繁茂, 其产量为荒山草地的1.6~3.2倍; 4. 2~9年生沙打旺草地平均每年亩产草量为359kg(干重), 为天然草地的7.6倍; 沙打旺生长较旺盛的3~7年产草量(442kg/亩)为天然草地的8.3倍。以1979~1989年的13年计, 沙打旺草地产草量(261kg/亩)为同期封禁荒山草地(47kg/亩)的5.6倍, 可见播种一次沙打旺在7~13年中可获得高于天然草地4.6~7倍的产量。

(三) 沙打旺草地水分特征

1. 沙打旺草地的水分利用。

沙打旺产草量较高, 所以蒸腾耗水量相对较大。表2为1981年对不同播区, 不同生长年限的沙打旺草地与荒山植被产量与耗水量测定的结果。3~7年生沙打旺草地与同期封禁的荒山草地年平均总耗水量为492.8和333.8mm, 其中蒸腾耗水量分别为311.6和49.5mm。即荒山草地蒸腾耗水量仅占总耗水量(与年降水量大致相等)的15%, 而85%的降水消耗于径流和土壤蒸发。沙打旺草地总耗水量稍大于年降水量, 其中约72%用于蒸腾, 使径流和蒸发等无效耗水量大大降低, 也就是说沙打旺草地平均每年比荒山草地用于干物质生产的有效水多262mm。

由表2还可以看出, 沙打旺的蒸腾系数(生产1g干物质蒸腾需水量)为446~596, 比荒山草地(541~777)略低, 即对水分蒸腾利用的有效性略高, 但沙打旺草地水分利用率(每1m²草地1mm水生产的干物质克数)则为荒山草地的6.1倍, 对水分利用的有效性主要决定于蒸腾

表2 沙打旺草地与荒山草地耗水量比较

试验区	生长及封禁年	草地类型	干草产量(kg/亩)	年总耗水量(mm)	蒸腾耗水量(mm)	蒸腾系数	水分利用率(g/m ² ·mm)
新寨	3	沙打旺	434	572.7	387.7	596	1.13
		荒山	39	279.2	41.1	696	0.21
三谷窑	4	沙打旺	497	461.1	403.5	542	1.62
		荒山	35	381.1	35.2	664	0.14
王洼子	5	沙打旺	365	267.4	243.7	446	1.90
		荒山	53	275.7	62.2	777	0.29
白石嘴	6	沙打旺	335	463.9	271.7	541	1.08
		荒山	66	369.0	57.0	582	0.27
水头	7	沙打旺	377	398.9	251.2		1.42
		荒山	64	364.1	52.0		0.26

耗水与径流、蒸发等无效耗水之比。1981年各试验区3~7年生沙打旺草地总耗水量为荒山草地的1.3倍,其产草量却为7.8倍,以白石咀播区2~9年生沙打旺草地计算,产草量为荒山草地的7.6倍,总耗水量仅为1.1倍,可见,沙打旺草地通过减少径流和土壤蒸发而把大量降水和土层储水变为有效水用于干物质生产,使产草量和水分利用率大大提高。

2. 沙打旺草地水分动态。

沙打旺为满足蒸腾耗水需要,一方面充分吸收降雨补给的浅层土壤水分,同时根系不断下伸吸收深土层储水,因而土壤水分形成明显的季节和年际变化规律。

表3、表4所示试验区干旱年与丰水年沙打旺草地的土壤水分季动态。吴旗荒山1.2m以内土

表3 吴旗沙打旺草地及荒山草地干旱年土壤水分季动态

草类	土层深 (cm)	测 定 日 期 (1980年)												
		6月 1日	6月 11日	7月 1日	7月 11日	7月 21日	8月 1日	8月 11日	8月 21日	9月 1日	9月 11日	9月 21日	10月 1日	10月 22日
		(土壤含水量:干土重%)												
沙 打 旺	0~20	5.77	4.77	7.12	3.56	3.25	4.73	5.18	11.18	6.73	8.38	4.53	5.74	5.03
	20~40	4.60	4.77	4.50	3.78	4.01	3.81	3.99	5.85	6.38	4.88	4.71	4.03	4.27
	40~60	4.44	4.77	4.21	3.59	4.07	3.88	4.05	3.98	4.34	4.85	4.39	4.19	4.08
	60~100	4.45	4.56	3.97	3.15	4.12	4.21	4.01	3.78	3.89	4.16	4.36	4.19	3.85
荒 山 草 地	0~20	7.02	5.85	7.78	5.09	3.73	5.88	7.18	10.77	9.20	12.44	8.37	11.35	6.73
	20~40	9.31	8.21	8.33	7.63	7.20	5.06	7.58	7.24	8.57	10.09	7.90	8.93	10.59
	40~60	10.64	9.52	9.32	8.37	8.23	6.42	7.78	5.92	6.61	8.37	6.83	8.70	9.93
	60~100	10.44	9.39	9.85	8.77	9.13	6.80	8.65	7.44	7.90	7.86	7.75	8.14	8.04

表4 吴旗沙打旺草地及荒山草地丰水年土壤水分季动态

草类	土层深 (cm)	测 定 日 期 (1981年)							
		5月1日	6月2日	7月4日	7月29日	8月7日	8月29日	9月3日	10月26日
		(土壤含水量:干土重%)							
沙 打 旺	0~40	7.99	5.05	15.42	12.41	6.63	11.48	12.09	12.56
	40~80	5.36	4.95	10.84	7.70	6.13	6.49	7.42	7.70
	80~120	4.80	4.73	5.76	6.06	5.18	5.11	5.36	5.04
	120~200	4.55	4.40				5.26		5.12
荒 山 草 地	0~40	8.67	5.75	15.26	14.52	7.78	13.98	16.26	15.90
	40~80	7.68	5.99	10.08	12.46	10.11	11.31	13.98	13.58
	80~120	8.02	7.44	6.44	10.07	8.86	9.60	12.09	11.66
	120~200	8.38	8.39				7.53		11.59

壤含水量一般变动于6.3%~17%之间，为田间持水量的26.8%~88.3%；1.2m以下为8%~12%。而沙打旺根系所达土层土壤含水量一般为4%左右。表3为1980年5年生沙打旺草地1m土层水分动态。雨季前1m内土壤有效水已被耗尽。6月沙打旺进入生长期，加之气温回升，蒸发加剧，1m土壤含水量已经很低。随着雨季的到来，土壤水分得以补偿。但干旱的1980年在沙打旺草地降水入渗深度仅限于20~30cm，补偿的水分很快又被蒸腾蒸发所消耗。加之7月降水量仅37mm，故1m土层含水量的最低点出现在7月中旬。在荒山1m土层水分亦不断消耗，但降水可补偿至60~100cm。可见在干旱年份沙打旺草地土壤水分活跃层仅限于40cm内，而且经过雨季土壤水分未得到补偿。1981年6年生沙打旺草地中6月2日为一年土壤含水量的最低点。随着雨季来临，80cm土壤水分得以补偿，不仅保证了沙打旺较好生长，生长季末2m土层储水还增加约58mm，达178mm。1981年荒山草地土壤水分补偿深度可达2m以下，2m土层储水量较6月2日增加133mm，达310mm。

表5 吴旗试验区1980年与1981年逐月降水量

年份	月份 (降水量: mm)												合计
	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	
1980年	0.1	0.3	5.9	1.9	39.4	71.8	37	82.8	39	9.8	0	0	288
1981年	2.4	0	12	30	5.1	115	119.5	122.1	49.6	16.7	2	0	477.4

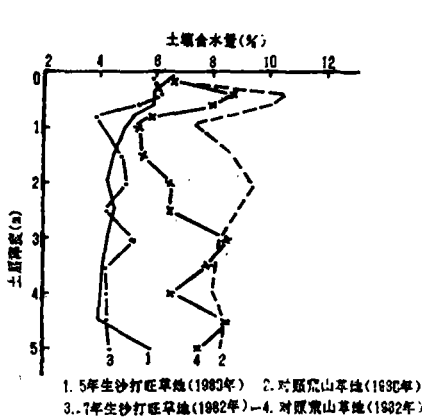


图1 5~7年生沙打旺草地土壤水分

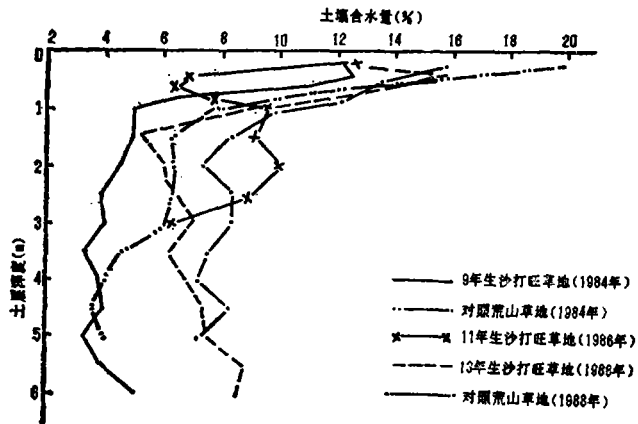


图2 9~13年生沙打旺草地土壤水分

大量土壤水分和根系调查资料表明，在半干旱区的黄土梁峁坡，沙打旺随生长年限增长每年根系向下延伸1~2m，使强烈吸水层及其造成的干层不断向下发展。图1表明白石咀播区5年生沙打旺草地4.5m处土层含水量已降至4%，5m处水分已被利用，5m土层总储水量为荒山的59%；1982年7年生沙打旺草地5m处土壤含水量已降为4%左右。从图1、图2可看出，在沙打旺生长旺盛的几年中，尽管土壤水分活跃层含水量随各年降水量的多少有所波动，但沙打旺根系所达土层的总储水量呈递减趋势。从第9年开始，随着沙打旺的衰败，除特别干旱的年份外5m土层储水呈递增状态。储水量的增加主要靠上层土壤水分的补偿。图2清楚地反映了土壤水分恢复进程。1984年降水量略低于平均年降水量，开始衰败的沙打旺草地60cm土层内水分得以较好

恢复; 1986年为较干旱的年份, 衰败二年的沙打旺草地2.5m土层水分已得以补偿, 经过2年连续干旱至1988年, 衰败4年的沙打旺草地3m土层水分得以补偿, 60cm以内土壤含水量超过荒山草地, 5m土层储水量补偿了178mm, 恢复到荒山的78% (1987年恢复到荒山的84.7%)。必须指出的是, 沙打旺衰败后天然草类生长繁茂, 仍蒸腾消耗较多的水分, 此时土壤水分的恢复是在取得高于荒山2~3倍产草量的情况下实现的。另外, 1981年春我们在试验区开垦5年生沙打旺草地, 种谷子、糜子, 仅靠当年降水, 产量分别为对照农地的3倍和2.5倍, 生长季后, 1m土层水分还得到恢复, 40cm内土壤持水量高于农地。

四、沙打旺的种植方式与利用

沙打旺是适于黄土高原半干旱区广为种植的优良牧草。它不仅适应性强、生长快、产量高, 而且固氮改土效果显著。在退耕的陡坡地、荒山荒沟大面积种植沙打旺是迅速恢复植被、控制水土流失的有效措施, 也是充分利用土地和水分资源, 提高土地生产力, 发展畜牧业的有效途径。

吴旗的试验研究表明生长在水分条件较好的沟底、沟坡的沙打旺产草量虽较高, 但5年即全部衰败、死亡, 而在黄土深厚的梁峁坡, 根系不断向下生长, 寿命可达9~12年。因此沙打旺用于沟坡的草场改良和植被建造时, 应与适宜的灌木(如柠条、沙棘等)实行带状混交, 混交比例及带宽视立地条件和主要利用方式而定。这样造林种草后的2~5年沙打旺草带迅速郁闭, 发挥其经济、水保效益, 沙打旺衰败后, 形成较稳定的带状灌木林, 既可保持水土, 又是较好的放牧林。在梁峁坡, 沙打旺可用于退耕地建立人工草地、荒山草场改良。在较平缓、完整的梁峁坡, 可实行沙打旺与农地宽带状间轮作, 带宽以便于耕作为原则。轮作周期以4~5年为宜。这样一方面可获得沙打旺的最高产草量, 同时深土层的储水不会过分亏缺, 通过4~5年可得以较好恢复, 为后茬作物的高产提供更好的水分条件。实行这种草粮带状间轮作既可以减少坡面土壤侵蚀, 又可提供大量饲草发展畜牧业, 还可以通过沙打旺固氮改土使后茬作物产量提高2~3倍。目前, 一些地方多在远山连片退耕种草, 种草后管护不好, 易遭放牧破坏, 牧草不能正常生长, 效益低, 所以群众种草积极性不高。实行草粮带状间轮作, 易于减少放牧对草带的破坏, 同时便于刈割利用。大面积的沙打旺草地还可在农作物收获后用于冬春放牧。我们认为这是黄土丘陵区建立草一畜一农稳定高产农业生态系统的战略措施之一。

吴旗试验结果表明, 沙打旺密度为3~5株/m²时, 产草量最高, 密度过大产草量降低。所以在梁峁坡种植沙打旺, 密度以3~5株/m²为宜, 在沟坡种植密度可适当加大, 但不应超过15株/m², 特别在改良天然放牧草地时, 沙打旺密度过大, 一方面抑制天然草类生长, 同时沙打旺产量降低, 亦不利于放牧。

目前沙打旺已在黄土高原广为种植, 但因种种原因, 大多管护不好、利用不善, 沙打旺的经济、生态效益尚未充分发挥。通过多年系统研究, 我们认为沙打旺在黄土高原治理、开发中尚具有巨大潜力和发展前途, 应更加有目的、有计划大面积种植, 并不断研究大面积推广中出现的新问题。如草地更新、混交问题、放牧、饲草加工以及病虫害防治等。



1. 林地施肥与不施肥对比
(防风固沙林带)

山西右玉县



2. 飞播四年生沙打旺
(左下角为沙棘及天然草地)

陕西吴旗县



3. 沙打旺衰败后, 天然草类生长更加旺盛

陕西吴旗县



4. 黄土高原发展苜蓿有利深层
水分利用(10年以上人工苜蓿)

宁夏固原县上黄村

(2. 3号照片系梁一民摄 1. 4号照片为韩仕峰摄)