

基于 Gardner 模型的黔西南土壤水分特征分析

杨 绪^{1,2}, 赵廷超³, 王 丰³, 邵孝侯^{1,2*},

郭亚利³, 李敏慧^{1,2}, 常婷婷^{1,2}, 广建芳^{1,2}, 吴问波^{1,2}

(1. 南方地区高效灌排与农业水土环境教育部重点实验室(河海大学), 南京 210098;

2. 河海大学 水利水电学院, 南京 210098; 3. 贵州省烟草公司黔西南州公司, 贵州 兴义 562400)

摘 要:【目的】了解黔西南州不同地区土壤剖面(0~60 cm)持水特性的差异。【方法】在实验室内利用压力膜仪法测定了各土壤的水分特征曲线,并分析其土壤水分特征。【结果】黔西南州各植烟县不同土层土壤水分特征曲线均可采用 Gardner 模型拟合,不同烟区土壤水分常数及持水特性有明显差异。其中兴义、贞丰、安龙和普安土壤持水性能强弱表现为 40~60 cm>20~40 cm>0~20 cm,晴隆和兴仁烟区土壤持水性能表现为 20~40 cm>40~60 cm>0~20 cm;各植烟县烟田 0~20 cm 土层土壤持水性能强弱顺序为兴义,安龙,晴隆,贞丰,普安和兴仁;20~40 cm 土层土壤的持水性能强弱顺序为兴义,安龙,晴隆,兴仁,贞丰和普安;40~60 cm 土层土壤的持水性能强弱顺序为兴义、安龙、普安、晴隆、贞丰和兴仁。【结论】同一植烟县深层土壤持水能力强于表层土壤,不同植烟县间的土壤持水性也存在明显差异。

关 键 词:黔西南州; Gardner 模型; 保水抗旱; 土壤水分特征曲线; 土壤持水特性

中图分类号:S152.7

文献标志码:A

doi:10.13522/j.cnki.gggs.2017.0505

杨绪,赵廷超,王丰,等. 基于 Gardner 模型的黔西南土壤水分特征分析[J]. 灌溉排水学报,2018,37(7):35-42.

0 引言

土壤水分显著影响烤烟的生长发育,是烟草生长发育必不可少的资源^[1-4]。黔西南州是我国主要特色烟区之一,全州降雨充沛,但降雨集中在烤烟生长的前期和中期,大部分地区属喀斯特地貌,土壤孔隙度大,蓄水、保水能力差^[5]。土壤持水特性表示土壤吸持水分的能力,目前往往通过测定土壤水分特征曲线来研究土壤持水特性^[6-9],其影响因素较多,如质地、结构、孔隙、温度等,多采用经验模型如 Gardner 模型对其进行拟合^[10-16]。研究土壤水分特征曲线和 Gardner 模型参数,可揭示土壤的持水和释水特性,进而更好地认识土壤干旱。

我国各主要烟区在烤烟各生育期时常会发生不同程度的干旱,对烤烟的生长发育有较大影响^[17-19]。黔西南州阶段性干旱(春旱和伏旱)时有发生,造成烤烟产量和质量很不稳定^[20]。阐明各烟区土壤持水特性,提高烟田土壤的保水蓄水能力已成为烟草节水抗旱的必然选择^[21-22]。目前,黔西南州针对干旱开展了雨水集蓄、田间输水工程、农业栽培等一系列措施的研究与应用,但涉及土壤持水性能的研究不多。因此,为了明确各烟区土壤持水特性,提高烟田土壤的保水蓄水能力,在实验室内利用压力膜仪法测定黔西南州典型植烟土壤的水分特征曲线,探讨不同土壤持水、保水和土壤水分的有效性的差异,旨在为黔西南州节水抗旱及保水蓄水技术的推广应用提供一定理论依据。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

黔西南州位于贵州省西南部,东经 104°35′—106°32′,北纬 24°38′—26°11′,海拔介于 275~2 207 m 之间,

收稿日期:2017-08-19

基金项目:贵州省烟草公司黔西南州公司科技项目(JS-JL-11/D[2015]41 号);江苏省研究生科研与实践创新计划项目(SJCX17_0129, SJZZ16_0083);国家自然科学基金项目(51509068)

作者简介:杨绪(1989-),男。博士研究生,主要从事农业水土资源保护研究。E-mail: yangxucould@163.com

通信作者:邵孝侯(1963-),男。教授,博士生导师,主要从事农业水土环境研究。E-mail: shaoxiaohou@163.com

有大面积地势较平缓的丘原与槽谷。气候属亚热带季风湿润气候区,多年平均气温 13.8~19.4℃,年均无霜期 317 d,年平均日照时间 1 589.1 h,年平均降水量 1 352.8 mm。降雨集中在每年 5—9 月,6 月最多。该地地区温度适宜,雨量丰沛,无霜期长,日照条件好,是贵州省太阳辐射较高的地区。境内土壤有红壤、黄壤、黄棕壤、石灰土等土壤类型,耕地土壤大部分系微酸性或中性,pH 值在 5.5~7.0 之间,土壤含钾量较高,适于烟草生长。

1.2 土样采集

2016 年 4 月在黔西南州主产烟区兴义、普安、安龙、兴仁、贞丰、晴隆 6 县(市)选择有代表性的地段采样,所用环刀直径 5 cm,高 2 cm。采样选取未经扰动的区域,挖 1 m×1 m×1.2 m 土壤剖面,采集各剖面的原状土样,根据烟草根系深度密集范围,选取采集深度分别为 0~20、20~40、40~60 cm,取样时用卷尺测量,在每一层中部(10、30 和 50 cm)处取样,各采样点取 3 个重复,共 54 个样品,测定结果取 3 个平行样的平均值作为测量值。各土样采集点位置及土壤基本情况见表 1。

表 1 黔西南州采样点位置及土壤基本情况

采样点	采样点坐标	海拔/m	pH 值	有机质质量分数/%	土壤质地
兴义	25°10'24"E, 105°9'37"N	1 303	6.8	3.42	黏壤土
普安	25°44'7"E, 104°54'4"N	1 720	6.3	3.37	砂质壤土
安龙	25°4'58"E, 105°15'55"N	1 138	6.4	3.42	中壤土
兴仁	25°19'59"E, 105°10'14"N	1 505	6.5	3.01	黏壤土
贞丰	25°28'31"E, 105°31'2"N	1 311	7.0	3.26	轻黏土
晴隆	25°43'51"E, 105°8'0"N	1 210	6.6	4.13	砂质壤土

1.3 土壤水分特征曲线测定

使用压力膜仪测土壤水分特征曲线将环刀取得的原状土连同压力板一起置于薄层蒸馏水中浸泡 24 h 使土样充分饱和后并称质量;然后将浸泡过的压力板放入压力室内,将环刀土放在压力板上,保证环刀土底面与压力板完全接触,封闭压力室并加压,先从低压(0.005 MPa)开始,土壤受压后,随即有水自引水管中流出,等到水不再流出时,即达到平衡,此时关闭进气阀打开压力室,分别称各土样质量,之后,将土样放回压力室并重复以上操作,施加的压力值依次为 0.005、0.01、0.02、0.03、0.05、0.06、0.08、0.1、0.15、0.3、0.5、1.0 和 1.5 MPa。最后将土样取出放入烘箱,在 105℃的温度下烘至恒质量并依次称质量,计算得出在饱和至凋萎各个压力等级下的土壤体积含水率,用各含水率和所对应的施加的压力做出土壤水分特征曲线。

1.4 拟合模型

测定的土壤水分特征曲线是高度非线性的函数,受到多种环境和土壤因素影响。利用 Gardner 模型来估计不同烟田土壤的水力特性,并根据实验数据,利用 Excel 中的相关函数与规划求解工具进行拟合。

Gardner 模型表示水分特征曲线的表达方式:

$$\theta=AS^B, \tag{1}$$

式中: θ 为含水率(%); S 为土壤吸力(Bar); A 和 B 为非线性回归系数。

当 $S=1$ Bar 时, $\theta=A$,即模型中的参数 A 是土壤的吸力为 1 Bar 时的含水率。 A 表征曲线的高低,亦即持水能力的大小, A 值越大,持水能力越强。当 A 值不变时, B 值越大($0<B<1$),则曲线越靠近纵坐标轴,反映了土壤水势值变化时,土壤含水率变化的快慢程度。 $A \cdot B$ 是土壤水吸力 S 为 1 Bar 时的比水容量,可用于评价土壤的供水性能或耐旱能力,其值越大表明土壤的供水性能越好^[23]。而 $B+1$ 表明,比水容量随水势的变化远比含水率的变化快^[23]。

2 结果与分析

各组土样 Gardner 模型拟合的参数见表 2,拟合曲线结果见图 1—图 9。从表 2 可以看出,土壤水分特征曲线的相关系数均在 0.90 以上,表明不同烟区土壤水分特征曲线拟合的数据和实验数据相关性较好。

2.1 黔西南典型烟区土壤水分常数

土壤水分常数主要包括土壤饱和含水率、土壤田间持水率、土壤毛管断裂含水率、凋萎系数和吸湿系数,饱和含水率是指土壤颗粒间所有孔隙都充满水时的含水率,其计算式^[24]为:

$$\omega=(G_s-G_g)/(G_g-G_0)\times 100\%, \tag{2}$$

式中: ω 为土壤饱和含水率(%); G_s 为湿土+铝盒的质量(g); G_g 为干土+铝盒的质量(g); G_0 为铝盒的质量(g)。

表 2 Gardner 模型水分特征曲线拟合参数

采样点	土层深度/cm	<i>A</i>	<i>B</i>	<i>R</i> ²	<i>A</i> • <i>B</i>	<i>B</i> +1
兴义	0~20	0.407 7	0.046 6	0.980 0	0.018 9	1.046 6
	20~40	0.488 2	0.033 0	0.970 9	0.016 1	1.033 0
	40~60	0.504 5	0.031 4	0.967 7	0.015 8	1.031 4
普安	0~20	0.303 4	0.084 8	0.928 5	0.025 7	1.084 8
	20~40	0.338 0	0.057 7	0.917 6	0.019 5	1.057 7
	40~60	0.462 6	0.023 0	0.974 2	0.010 6	1.023 0
安龙	0~20	0.381 6	0.036 6	0.993 9	0.013 9	1.036 6
	20~40	0.474 3	0.021 4	0.991 9	0.010 2	1.021 4
	40~60	0.480 1	0.021 1	0.982 9	0.010 1	1.021 1
兴仁	0~20	0.228 2	0.086 8	0.953 0	0.019 8	1.086 8
	20~40	0.371 9	0.028 6	0.979 5	0.010 6	1.028 6
	40~60	0.335 9	0.039 1	0.983 9	0.013 1	1.039 1
贞丰	0~20	0.329 4	0.041 6	0.986 9	0.013 7	1.041 6
	20~40	0.346 2	0.032 6	0.991 2	0.011 3	1.032 6
	40~60	0.396 2	0.025 6	0.998 1	0.010 1	1.025 6
晴隆	0~20	0.372 8	0.041 2	0.937 3	0.015 4	1.041 2
	20~40	0.414 2	0.026 7	0.963 8	0.011 1	1.026 7
	40~60	0.406 4	0.035 8	0.961 4	0.014 5	1.035 8

田间持水率是土壤所能保持毛管悬着水的最大量时的土壤含水率,是对作物有效的最高土壤含水率,常用来作为灌溉上限和计算灌水定额的指标^[24]。毛管断裂含水率大约相当于田间持水率的 65%,一般作为灌水的下限;凋萎系数是指当土壤含水率降低至吸湿系数的 1.5~2.0 倍时,就会使植物发生永久性凋萎现象,此时的含水率就称为凋萎系数^[25],土壤凋萎系数计算式^[24]为:

$$\theta_{萎}=(G_w-w_g)/w_g\times 100\%, \tag{3}$$

式中: $\theta_{萎}$ 为凋萎系数(%); G_w 为凋萎时原状土质量(g); w_g 为干土质量(g)。

表 3 不同土样土壤水分常数

采样点	土层深度/cm	饱和含水率/%	田间持水率/%	毛管断裂含水率/%	凋萎系数/%	吸湿系数/%
兴义	0~20	0.524 1	0.351 5	0.228 5	0.240 9	0.160 6
	20~40	0.568 4	0.447 3	0.290 7	0.346 6	0.231 1
	40~60	0.581 4	0.450 7	0.293 0	0.353 9	0.235 9
普安	0~20	0.601 0	0.421 1	0.273 7	0.214 2	0.142 8
	20~40	0.581 1	0.457 7	0.297 5	0.217 7	0.145 1
	40~60	0.569 9	0.477 3	0.310 2	0.382 8	0.255 2
安龙	0~20	0.528 2	0.356 7	0.231 9	0.235 8	0.157 2
	20~40	0.573 5	0.388 4	0.252 5	0.304 3	0.202 9
	40~60	0.563 3	0.391 5	0.254 5	0.313 7	0.209 1
兴仁	0~20	0.564 1	0.336 5	0.218 7	0.118 8	0.079 2
	20~40	0.476 7	0.374 8	0.243 6	0.287 5	0.191 7
	40~60	0.489 9	0.361 9	0.235 2	0.225 1	0.150 1
贞丰	0~20	0.473 4	0.275 2	0.178 9	0.161 2	0.107 5
	20~40	0.458 1	0.287 7	0.187 0	0.199 9	0.133 3
	40~60	0.488 2	0.293 5	0.190 8	0.222 1	0.148 1
晴隆	0~20	0.525 3	0.379 6	0.246 7	0.247 2	0.164 8
	20~40	0.551 8	0.448 6	0.291 6	0.305 3	0.203 5
	40~60	0.538 3	0.424 8	0.276 1	0.292 1	0.194 7

吸湿系数是凋萎系数除以 1.5 得到^[8]。黔西南典型烟区的土壤水分常数见表 3。从表 3 可以看出,不同烟田土壤水分常数有一定的差异。同一采集点不同深度土层中,除兴仁和晴隆县最大的田间持水率出现在 20~40 cm 土层外,其余各县均为 40~60 cm 土层,这可能与土壤有机质量和体积质量等相关,也说明黔西南

州各县土壤持水能力普遍呈现深层土大于浅层土。土壤水的有效性是指土壤水能否被植物吸收利用及其难易程度,有效水等于田间持水率减去凋萎系数,从同一土层不同采样点的田间持水率与凋萎系数间差异来看,0~20 cm土层以兴义差异最小,仅为0.110 6%,安龙、晴隆和贞丰次之,分别为0.120 9%、0.132 4%、0.114%,以普安和兴仁差异最大,为0.214 2%和0.217 7%,这说明在相同土壤吸力下,兴义烟区0~20 cm土层持水能力最强,安龙、晴隆和贞丰次之,普安和兴仁烟区0~20 cm土层持水能力较差,且兴仁烟区0~20 cm土层凋萎系数最小,兴义烟区0~20 cm土层凋萎系数最大,也说明了兴仁县烟区0~20 cm土层供水性较好。20~40 cm土层以兴义和安龙差异较小,晴隆、兴仁和贞丰次之,以普安差异最大,为0.240%,因此兴义烟区20~40 cm土层持水能力最强,供水性相对较差,而普安烟区20~40 cm土层持水能力最差,供水性能最好。对于40~60 cm土层以兴义和安龙差异最小,晴隆、贞丰和普安次之,以兴仁差异最大,因此兴义烟区40~60 cm土层持水能力最强,供水性较差,而兴仁烟区40~60 cm土层持水能力最差,供水性能最好。

2.2 黔西南典型烟区不同土层土壤持水性

图1—图6为各烟区不同土层土样的实测与拟合土壤水分特征曲线。从图1—图6可以看出,不同土层土壤体积含水率均随着土壤吸力的增加而逐渐减小,其减小的幅度呈现先大后小的趋势;各采样点土壤水分特征曲线的形状虽基本相似,但在同一吸力下,不同土层土壤体积含水率间有差异,在同一土壤体积含水率下,不同土层土壤吸力值也存在差别。

从图1可以看出,当土壤吸力增加时,0~20 cm土层最易释水,20~40 cm土层次之,40~60 cm土层最难释水,20~40 cm及40~60 cm土层与0~20 cm土层差异很大。用来判断土壤持水能力大小的 A (表2)以40~60 cm土层最大为0.504 5,20~40 cm土层次之,0~20 cm土层最小。从表2可以看出,0~20 cm土层 $A \cdot B$ 最大,为0.018 9;20~40 cm土层次之,为0.016 1;40~60 cm土层最小,为0.015 8,这说明0~20 cm土层单位基质势的变化引起含水率变化最大,20~40 cm土层次之,40~60 cm土层最小,即表明0~20 cm土层持水能力弱,而40~60 cm土层 $A \cdot B$ 最小,单位基质势的变化引起含水率变化较小,土层持水能力强。从土壤水分特征曲线、参数 A 和参数 $A \cdot B$ 均能得出,兴义市植烟区各土层土壤的持水能力强弱顺序为40~60 cm土层>20~40 cm土层>0~20 cm土层。

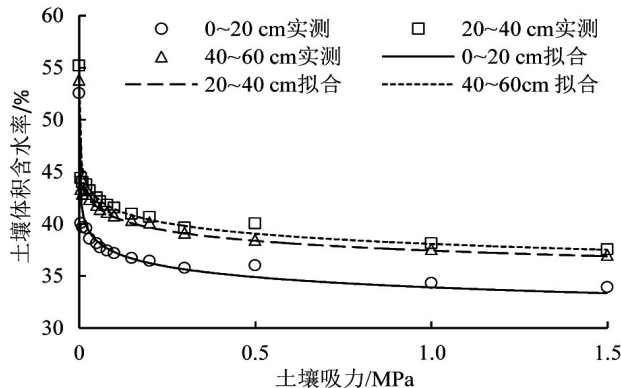


图1 兴义土样实测与拟合土壤水分特征曲线

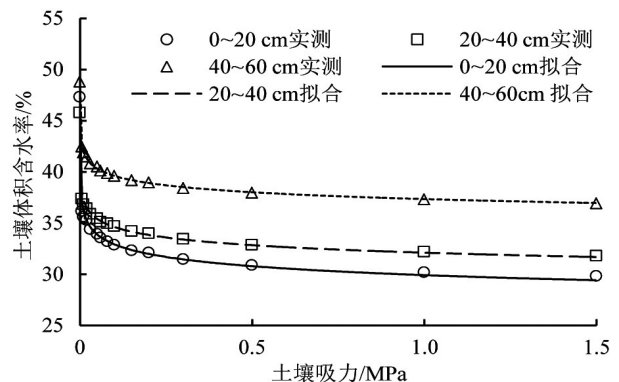


图2 贞丰土样实测与拟合土壤水分特征曲线

图2为贞丰县烟田土样土壤水分特征曲线。从图2可看出,0~20 cm与20~40 cm土层的水分特征曲线比较接近,而40~60 cm土层土壤的水分特征曲线与其他2个土层有明显差别。0~20 cm土层土壤持水能力最弱,最易释水,20~40 cm土层土壤持水能力也比较弱,易释水。40~60 cm土层土壤持水能力最强,明显高于0~20 cm和20~40 cm土层。表2中40~60、20~40和0~20 cm土层土壤 A 值拟合分别为0.396 2、0.346 2和0.329 4。从表2还可以看出,0~20 cm土层 $A \cdot B$ 最大为0.013 7;20~40 cm土层次之,为0.011 3;40~60 cm最小,为0.010 1,这表明0~20 cm土层单位基质势的变化引起含水率变化最大,20~40 cm土层次之,40~60 cm土层最小,即说明0~20 cm土层持水能力弱;而40~60 cm土层 $A \cdot B$ 最小,单位基质势的变化引起含水率变化较小,土层持水能力强。从土壤水分特征曲线、参数 A 和参数 $A \cdot B$ 均能得出,贞丰县烟田各土层土壤的持水能力强弱顺序为40~60 cm土层>20~40 cm土层>0~20 cm土层。

图3为安龙县土样水分特征曲线。从图3可以看出,20~40 cm和40~60 cm土层与0~20 cm土层差异十分明显,20~40 cm和40~60 cm土层之间差异不大,同一吸力下0~20 cm土层土壤释放的水量最多,20~40 cm土层土层次之,40~60 cm土层土壤最少,说明40~60 cm土层持水特性最好。 A 值的拟合也以40~60 cm土层最

大,为0.480 1;20~40 cm土层次之,为0.474 3;0~20 cm土层最小,仅为0.381 6。从表2还可以看出,0~20 cm土层 $A \cdot B$ 最大,为0.013 9;20~40 cm土层次之,为0.010 2;40~60 cm土层最小,为0.010 1,这表明0~20 cm土层单位基质势的变化引起含水率变化最大,20~40 cm土层次之,40~60 cm土层最小,即说明0~20 cm土层持水能力弱;而40~60 cm土层 $A \cdot B$ 最小,单位基质势的变化引起含水率变化较小,土层持水能力强。从土壤水分特征曲线、参数 A 和参数 $A \cdot B$ 均能得出,安龙县烟田各土层土壤的持水能力强弱顺序为40~60 cm土层>20~40 cm土层>0~20 cm土层。

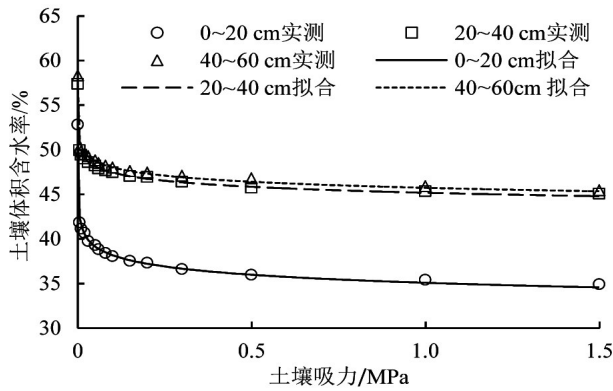


图3 安龙土样实测与拟合土壤水分特征曲线

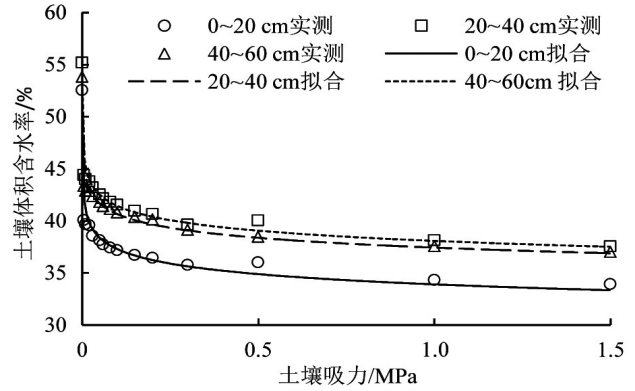


图4 晴隆土样实测与拟合土壤水分特征曲线

图4所示为晴隆县土样水分特征曲线。从图4可以看出,0~20 cm土层土壤最易释水,该土层土壤的持水能力最弱。20~40 cm和40~60 cm土层持水特性差异不大,20~40 cm土层持水能力稍高于40~60 cm土层。表2拟合 A 值以20~40 cm土层土壤最大,为0.414 2;40~60 cm土层次之,为0.406 4;0~20 cm土层最小,为0.372 8,即晴隆县各土层土壤的持水能力强弱顺序为20~40 cm土层>40~60 cm土层>0~20 cm土层。从表2还可以看出,0~20 cm土层 $A \cdot B$ 最大,为0.015 4;40~60 cm土层次之,为0.014 5;20~40 cm土层最小,为0.011 1,这表明0~20 cm土层单位基质势的变化引起含水率变化最大,40~60 cm土层次之,20~40 cm土层最小,即0~20 cm土层持水能力弱;而20~40 cm土层 $A \cdot B$ 最小,单位基质势的变化引起含水率变化较小,土层持水能力强。综合土壤水分特征曲线、参数 A 和比水容量 $A \cdot B$ 均能得出,晴隆县各土层土壤的持水能力强弱顺序为20~40 cm土层>40~60 cm土层>0~20 cm土层。

图5为普安县土样的土壤水分特征曲线。从图5可以看出,各土层同一吸力下土壤含水率有明显差异。在0.1 MPa之前20~40 cm与0~20 cm土层土壤含水率差异不大,随后差异逐渐拉开。从总体来看,0~20 cm土层最易释水,40~60 cm土层最难释水。表2拟合 A 值也表明40~60 cm土层土壤最大,20~40 cm土层次之,0~20 cm土层最小,说明普安县各土层土壤持水能力强弱顺序为40~60 cm土层>20~40 cm土层>0~20 cm土层。此外,从表2还可以看出,0~20 cm土层 $A \cdot B$ 最大,为0.025 7;20~40 cm土层次之,为0.019 5;40~60 cm土层最小,为0.010 6,这表明0~20 cm土层单位基质势的变化引起含水率变化最大,20~40 cm土层次之,40~60 cm土层最小,即说明0~20 cm土层持水能力弱;而40~60 cm土层 $A \cdot B$ 最小,单位基质势的变化引起含水率变化较小,土层持水能力强。综上所述,从土壤水分特征曲线、参数 A 和比水容量 $A \cdot B$ 均能得出,普安县各土层土壤持水能力强弱顺序为40~60 cm土层>20~40 cm土层>0~20 cm土层。

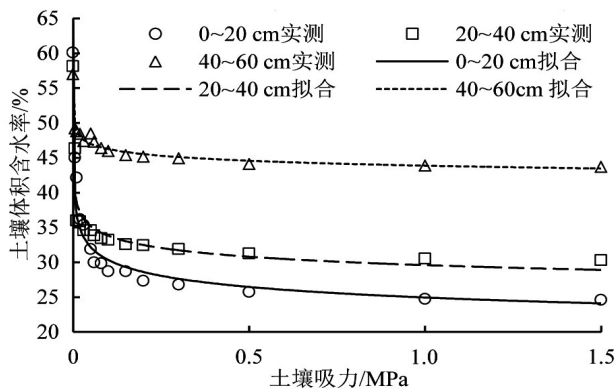


图5 普安土样实测与拟合土壤水分特征曲线

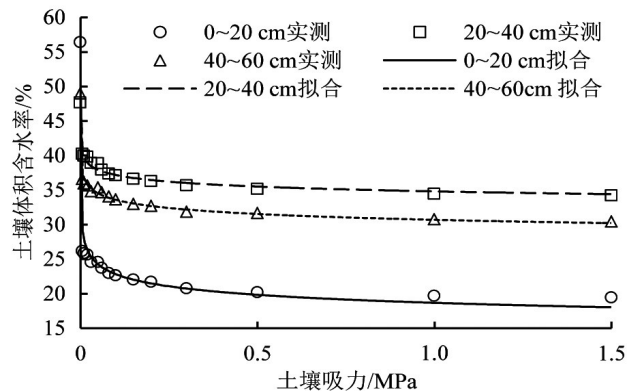


图6 兴仁土样实测与拟合土壤水分特征曲线

图6为兴仁县土样的土壤水分特征曲线。从图6可以看出,0~20 cm土层土壤的水分特征曲线与其他2个土层有明显区别,而20~40、40~60 cm土层土壤的水分特征曲线差异不大。同一吸力范围,0~20 cm土层土壤最易释水,该土层土壤的持水能力最弱。其次是40~60 cm土层,20~40 cm土层最大。表2拟合的 A 值也说明20~40 cm土层土壤最大,40~60 cm土层次之,0~20 cm土层最小,这说明土壤的持水能力强弱顺序为20~40 cm土层>40~60 cm土层>0~20 cm土层。从表2还可以看出,0~20 cm土层 $A \cdot B$ 最大,为0.019 8;40~60 cm土层次之,为0.013 1;20~40 cm土层最小,为0.010 6,这表明0~20 cm土层单位基质势的变化引起含水率变化最大,40~60 cm土层次之,20~40 cm土层最小,即说明0~20 cm土层持水能力弱,植物极易从中吸收水分,所以0~20 cm土层供水性较好;而20~40 cm土层 $A \cdot B$ 最小,单位基质势的变化引起含水率变化较小,土层持水能力强。综合土壤水分特征曲线、参数 A 和比水容量 $A \cdot B$ 均能得出,兴仁县各土层土壤持水能力强弱顺序为20~40 cm土层>40~60 cm土层>0~20 cm土层。

2.3 黔西南典型烟区土壤持水性

图7为黔西南典型烟区各采样点0~20 cm土层土壤水分特征曲线。从图7可以看出,兴义、安龙和晴隆3市县水分特征差异不大,但与贞丰、普安和兴仁有较明显的差异,其中,6个取样点水分特征曲线从高到低依次为兴义、安龙、晴隆、贞丰、普安和兴仁。这说明兴义表层土壤持水能力最强,其次为安龙和晴隆,2县比较接近。再次之为贞丰及普安,2县仍存在一定的差异,贞丰优于普安,兴仁最差。此外,根据表3中土壤水分常数也可以看出,0~20 cm土层以兴义差异最小,安龙、晴隆、贞丰和普安次之,以兴仁差异最大,这说明在相同的吸力下兴义烟区0~20 cm土层持水能力最强,安龙、晴隆、贞丰和普安次之,兴仁烟区0~20 cm土层持水能力最差。综上,结合表2中 A 值的大小顺序及土壤水分常数可知,各植烟县烟田0~20 cm土层土壤持水性强弱顺序为兴义>安龙>晴隆>贞丰>普安>兴仁。

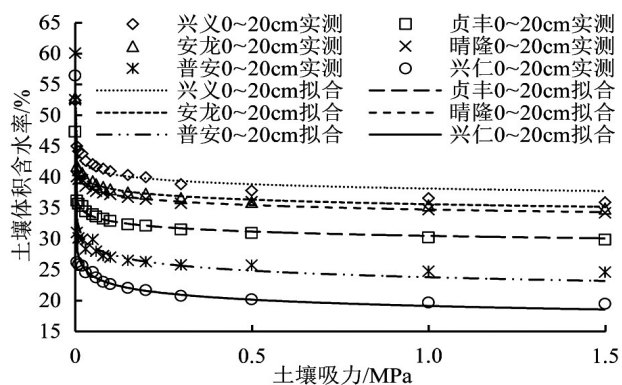


图7 0~20 cm各县土样实测与拟合土壤水分特征曲线

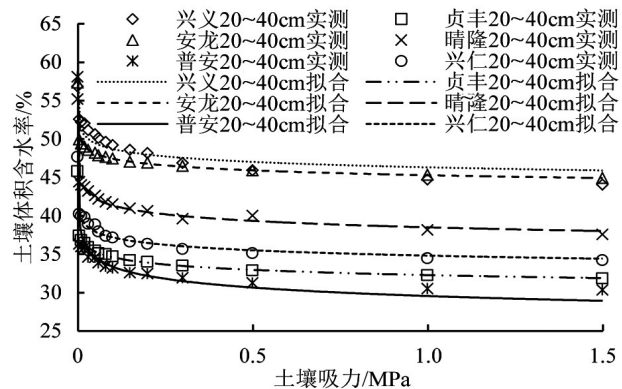


图8 20~40 cm各县土样实测与拟合土壤水分特征曲线

图8为黔西南典型烟区各采样点20~40 cm土层土壤水分特征曲线。从图8可以看出,兴义与安龙采样点土壤的水分特征曲线明显高于其他4个采样点的,其次分别是晴隆、兴仁、贞丰和普安。总体来看,普安土壤最易释水,同一吸力范围内释放的水量最多,表明持水能力最弱。此外,根据表3土壤水分常数也可以看出,20~40 cm土层以兴义差异最小,安龙、晴隆、兴仁和贞丰次之,以普安差异最大。综上,结合表2中 A 值的大小顺序及土壤水分常数可知,6个采样点烟田20~40 cm土层土壤的持水性强弱顺序为兴义>安龙>晴隆>兴仁>贞丰>普安。

图9为黔西南典型烟区各采样点40~60 cm土层土壤水分特征曲线。从图9可以看出,兴义的40~60 cm土层土壤水分特征曲线最高,兴仁最低,晴隆和贞丰间的比较接近,在高吸力1 MPa时,持水能力基本相同。在低吸力段,释放的水量以兴仁最大,晴隆和贞丰次之,随着吸力的进一步增加,二者释放出的水量相差很小。此外,根据表3土壤水分常数也可以看出,对于40~60 cm土层以兴义差异最小,安龙、晴隆、贞丰和普安次之,以兴仁差

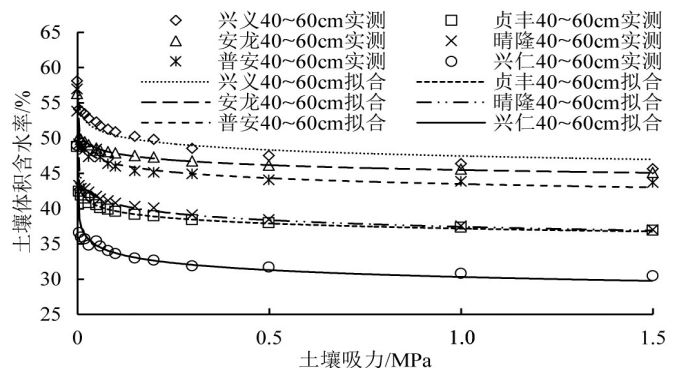


图9 40~60 cm各县土样实测与拟合土壤水分特征曲线

异最大。综上,结合表2中 A 值的大小顺序及土壤水分常数可知,6个烟区烟田40~60 cm土层土壤的持水性
强弱顺序为兴义>安龙>普安>晴隆>贞丰>兴仁。

3 讨论

采用 Gardner 模型对黔西南州典型烟区土壤水分特征曲线进行了拟合,模型拟合曲线和实测数据吻合
较好,证明 Gardner 模型能够较好地模拟土壤含水率与土壤水吸力之间的关系。俞建荣^[8]、邓羽松等^[26]、宋孝
玉等^[27]研究表明 Gardner 模型对土壤水分特征曲线有较好的拟合效果,与本研究结果一致。研究发现黔西南
各植烟县土壤的含水率随土壤吸力的增加都呈现出不断下降的趋势,并在吸力约0.003 MPa 以前下降剧烈,
之后则较缓。其原因是在低土壤吸力时,土壤所能保持或释放出来的水量取决于较粗孔隙的分布,施加较
小压力,大孔隙中的水即被排出,导致土壤水分特征曲线都比较陡直,而随着吸力的增加,保持在中小孔隙
中的水分缓慢释出,此时土壤水分特征曲线逐渐趋于平缓。

各植烟区土壤水分特征曲线差异主要取决于土壤质地、有机质和孔隙等基本性质,这是因为土壤持水
特性受土壤孔隙毛管引力和土壤颗粒分子引力的影响。土壤有机质的增加能够有效改善土壤结构,影响土
壤孔隙的毛管吸力和土壤颗粒间的分子引力。Hudson^[28]研究表明土壤有机质与土壤含水率正相关;土壤含
水率与土壤中的砂粒、粉粒、黏粒量及土壤体积质量密切相关。一般来说,土壤的黏粒量越高,同一吸力下
土壤的含水率越大。因此,可通过增加土壤黏粒量,来提高土壤在高吸力时的供水能力。

试验还表明,土壤的持水特性与土壤水分常数密切相关,且土壤水分常数决定了土壤有效含水率,能够
直接反映出土壤的持水能力和供水能力。这与俞建荣^[8]研究结果一致,说明土壤水分有效性低,土壤水吸力
大于植物根吸力,则土壤供水性能差,植物难以吸收土壤中水分,反之,土壤水分有效性高,则有利于作物的
吸收。土壤有效含水率与土壤质地组成及有机质量有着密切关系,有机质量高、结构较好的土壤有效含水
率较高,保水供水能力较强^[8]。因此,在实际生产中应适当振动松土和提高土壤有机质量,从而改善土壤结
构,增加土壤毛管孔隙度,提高土壤水分的有效性,以保证作物能够吸取土壤中有效的水分。

4 结论

1)各植烟县不同土层土壤的含水率随土壤水分吸力的增加呈现出不断下降的趋势,在低吸力时各土壤
特征曲线都比较陡直,随着吸力的增加逐渐趋于平缓。深层土壤单位基质势的变化引起含水率变化较小,
土层持水能力强,其中兴义、贞丰、安龙和普安都是深层土壤持水性能大于表层土壤,表现为40~60 cm 土层>
20~40 cm 土层>0~20 cm 土层;晴隆和兴仁烟区土壤持水性能则表现为20~40 cm 土层>40~60 cm 土层>0~20
cm 土层,出现的差异主要取决于土壤的理化性质。

2)不同烟区土壤同一水分常数所保持的水分有明显差异;田间持水率与凋萎系数差异小的土壤水分有
效性低,土壤供水性能较差,植物难以吸收。各植烟县烟田0~20 cm 土层土壤持水性强弱顺序为兴义、安龙、
晴隆、贞丰、普安和兴仁;20~40 cm 土层土壤的持水性强弱顺序为兴义、安龙、晴隆、兴仁、贞丰和普安;40~
60 cm 土层土壤的持水性强弱顺序为兴义、安龙、普安、晴隆、贞丰和兴仁。

参考文献:

- [1] 詹金华,陈志良. 烟草栽培[M]. 昆明:云南科技出版社,1998.
- [2] 谈晶晶,邵孝侯,陈立华,等. 不同供水条件下烟田的水分利用效率[J]. 河海大学学报(自然科学版),2012, 40(4): 446-450.
- [3] 夏桂敏,陈俊秀,迟道才. 膜下滴灌水氮耦合效应对黑花生产量的影响[J]. 中国农村水利水电,2016 (3): 01-06.
- [4] YANG Xu, SHAO Xiaohou, ZHAO Tingchao, et al. Estimation of water production function of tobacco k326 by jensen model[C]//Shenzhen: International Conference on Sensors, Measurement and Intelligent Materials, 2016: 217-220.
- [5] 蒋太明,魏朝富,谢德体,等. 贵州中部喀斯特地区黄壤持水性能的研究[J]. 水土保持学报,2006, 20(6):25-29.
- [6] 潘成忠,上官周平. 黄土半干旱丘陵区陡坡地土壤水分空间变异性研究[J]. 农业工程学报,2003, 19(6): 5-9.
- [7] 冉艳玲,王益权,张润霞,等. 保水剂对土壤持水特性的作用机理研究[J]. 干旱地区农业研究,2015, 33(5): 101-107.
- [8] 俞建荣. 我国不同生态类型烟区土壤持水性能及水分有效性研究[D]. 南京:河海大学,2007.
- [9] 韩祥伟,邵明安,王全九. 简单入渗法在确定 Brooks-Corey 水分特征曲线模型参数中的应用研究[J]. 土壤学报,2006, 43(3):506-508.
- [10] 郭全恩,王益权,车宗贤,等. 温度及矿化度对土壤持水性能的影响[J]. 灌溉排水学报, 2012,31(6):52-55.
- [11] 刘继龙,马孝义,张振华. 不同土层土壤水分特征曲线的空间变异及其影响因素[J]. 农业机械学报,2010, 41(1):46-52.

- [12] THYAGARAJ T, RAO S M. Influence of osmotic suction on the soil-water characteristic curves of compacted expansive clay[J]. Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, 2010, 136(12):1 695-1 702.
- [13] SAXTON K E, RAWLS W J. Soil water characteristic estimates by texture and organic matter for hydrologic solutions[J]. Soil Science Society of America Journal, 2006, 70(5): 1 569-1 578.
- [14] 张自军,冯绍元,唐泽军,等.北京顺义地区典型农田土壤水分特征曲线测定与分析[J].灌溉排水学报,2010,29(1):1-4, 26.
- [15] 郑荣伟,冯绍元,郑艳侠.北京通州区典型农田土壤水分特征曲线测定及影响因素分析[J].灌溉排水学报,2011, 30(3): 77-81.
- [16] 金文华,刘金海,鲁家鑫,等.烤烟节水灌溉试验与示范[J].烟草科技,2002(11): 39-41.
- [17] REYNOLDS L B, ROSA N. Effects of irrigation scheduling and amounts on flue-cured tobacco in ontario[J]. Tobacco Science,1995, 39(3): 83-91.
- [18] JUAN R.Forecasting of irrigation requirement for tobacco in the cuban condition[J].Coresta,1993(2): 71.
- [19] 车安斌,尚军,冉清,等.土壤水分对烤烟生长发育和产质量的影响[J].贵州农业科学,2012, 40(8): 75-77.
- [20] BENHUR M, FARIS J, MALIK M, et al. Polymers as soil conditioners under consecutive irrigations and rainfall[J]. Soil Science Society of America Journal, 2015, 53(4):1 173-1 177.
- [21] BEN H M, KEREN R. Polymer effects on water infiltration and soil aggregation[J]. Soil Science Society of America Journal, 1997, 61(2): 565.
- [22] 梁晨璟,李春光,赵文娟.两种方法对土壤水分特征曲线的拟合及比较[J].湖北农业科学,2014, 53(1): 56-58, 113.
- [23] 刘小宁,隆瑞红,罗珠珠,等.甘肃省典型土壤持水特性及影响因素研究[J].干旱地区农业研究,2017, 35 (1):143-151.
- [24] 邹文安,姜波,顾李华.土壤水分常数的测定[J].水文,2015,35(4): 62-66.
- [25] 郭元裕.农田水利学[M].北京:中国水利水电出版社,2007: 8-9.
- [26] 邓羽松,丁树文,刘辰明,等.鄂东南花岗岩崩岗崩壁土壤水分特征研究[J].水土保持学报,2015, 29(4): 132-137.
- [27] 宋孝玉,李亚娟,李怀有,等.土壤水分特征曲线单一参数模型的建立及应用[J].农业工程学报,2008, 24(12): 12-15.
- [28] HUDSON B D. Soil organic matter and available water capacity[J]. Journal of Soil and Water Conservation, 1994, 49(2): 189-194.

Water Retention Characteristics of Typical Soils in Southwestern Guizhou Province

YANG Xu^{1,2}, ZHAO Tingchao³, WANG Feng³, SHAO Xiaohou^{1,2*},
GUO Yali³, LI Minhui^{1,2}, CHANG Tingting^{1,2}, GUANG Jianfang^{1,2}, WU Wenbo^{1,2}

(1.Key Laboratory of Efficient Irrigation-Drainage and Agricultural Soil-water Environment in Southern China,
Ministry of Education(Hohai University), Nanjing 210098, China; 2.College of Water Conservancy and Hydropower Engineering,
Hohai University, Nanjing 210098 China; 3.Tobacco Company of Qianxinan Prefecture, Xingyi 562400, China)

Abstract: 【Objective】 Water retention characteristics is a soil quality indicator, and this paper presents the water retention curves measured from typical soils in southwestern Guizhou Province. 【Method】 Soil samples from 0~60 cm were taken from tobacco fields and their water retention curves were measured in laboratory using pressure membrane apparatus. 【Result】 All measured water release curves can be fitted to the Gardner formula but the model parameters varied. Overall, the water-holding capacity of the subsoil is higher than that of the top soil. For soils in Xingyi, Zhenfeng Anlong and Puan, their water-holding capacity at different depths was ranked in 40~60 cm>20~40 cm>0~20 cm, while for soils in Qinglong and Xingren, it was in the order of 20~40 cm>40~60 cm>0~20 cm. Spatially, the water holding capacity of soils in 0~20 cm and 20~40 cm ranked in Xingyi>Anlong>Qinglong>Zhenfeng>Puan>Xingren, while of the soil in 40~60 cm was order in Xingyi>Anlong>Qinglong>Xingren>Zhenfeng>Puan. 【Conclusion】 The water retention characteristics are spatially variable and the results presented in this paper can be used as references in designing irrigation schedules for this region.

Key words: southwestern Guizhou Province; Gardner formula; water conservation and drought resistance; soil water retention curves; soil water holding characteristics

责任编辑:赵宇龙