

黄土丘陵草地土壤营养元素 含量迁移及分布

贾 恒 义

(中国科学院 水土保持研究所 陕西杨陵 712100)
水 利 部

摘 要 系统研究黄土丘陵草地土壤理化性质、草地和农地营养元素迁移与富集,以及土壤养分剖面分布特征的基础上,试验结果表明,黄绵土、灰钙土及黑垆土为黄土丘陵区主要土壤类型;(2)黑垆土与黄绵土土壤颗粒组成含量差异较大,黑垆土成壤过程有隐粘化现象;(3)黑垆土表层及深层养分含量普遍高于黄绵土;(4)土壤养分在坡面与土壤剖面呈指数分布,土壤有效N、P、K含量北坡>西南>南坡;(5)提高草地生产力,防治土壤肥力退化的根本途径是增加草地养分输入;(6)提高豆科牧草对土壤深层养分的利用,可实现“生物聚肥”效应,培肥土壤。

关键词 黄土丘陵区 养分含量 养分迁移 养分分布

The Content Movement and Distribution Characteristics of Main Soil Types Nutrient Elements in Hilly Loess Plateau

Jia Hengyi

(Institute of Soil and Water Conservation, Chinese Academy of Sciences
and Ministry of Water Resources Yangling Shaanxi 712100)

Abstract Based on the systematic researches on soil physical and chemical properties of main soil types, the movement and enrichment of soil nutrient elements in farmland and grassland, and nutrient distribution on slopeland and in soil profile, the research results revealed: (1) The hilly loess plateau mainly distributed Heilu soil, loess soil and sierozem. (2) Heilu soil differed from loess completely in the soil textual composition, meanwhile. (3) The nutrient contents of top and profile of heilu soil were higher than that of loess soil generally. (4) Soil nutrient distributions on slopeland and soil profile presented exponent equation. (5) The essential approaches to raise grassland soil fertility and to prevent soil nutrient from deterioration were to increase nutrient elements inputs. (6) To enhance nutrient uses of Legume meadows in deep soil layer realized the effects of biological absorption to deeper layer nutrient elements, and fertilized soil.

Key words the hilly loess plateau nutrient content nutrient movement nutrient distribution

黄土高原梁峁起伏,沟壑纵横,水土流失严重,生态环境脆弱,土地资源利用极不合理,植

被覆盖度低。黄土丘陵阴阳坡草地土壤理化性质,草地、农地矿物元素的迁移富集和深层土壤有效矿物元素生产潜力的开发等是黄土高原土壤研究的薄弱方面。为此就上述问题,积多年的野外考察、定点定位观测和试验研究的资料,作一专题讨论与分析。推动加快黄土丘陵草地建设。

1 黄土丘陵草地土壤类型与分布

黄土丘陵在地理位置上属于生物气候的过渡地带,生物类型具有森林草原向荒漠草原过渡的特征。主要土壤类型有淡黑垆土亚类、淡灰钙土和绵土。

在黄土丘陵区,广大的科技工作者和农民群众都十分关注阴阳坡生态环境的差异,常根据植物类型、水热状态等,准确地将当地的坡地划分为阳坡地、阴坡地、半阳坡地、半阴坡地。

阴阳坡之差导致土壤水热状况有明显差异,土壤类型也具有特殊性,即梁状丘陵的顶部分布有淡黑垆土或黄绵土,梁峁为黄绵土,谷地为黑垆土。

2 黄土丘陵草地土壤物理性质

本区土壤受黄土沉积的影响,有的远离风沙区,有的较近,这些是影响土壤物理——水分性质的主要因素;又因土壤类型、阴阳坡之差异因素的影响,其土壤物理性质水分性质有所差异。

2.1 土壤颗粒组成

黑垆土:黑垆土分布的地域不同,其颗粒组成有明显的地域性特点,陕北长城沿线的淡黑垆土砂粒(1.0~0.05mm)在坡面中变幅在258.0~351.0g/kg,粉粒(0.05~0.001mm)变化在526.0~644.0g/kg范围内,其中粗粉粒(0.01~0.05mm)变化在360.0~500.0g/kg之间,粘粒(<0.001mm)在89.0~130.0g/kg之间。

宁南黄土丘陵区的台坪地上黑垆土的颗粒组成,砂粒(1.0~0.05mm)在63.0~92.0g/kg,粉粒(0.05~0.001mm)为710.0~765.0g/kg,粘粒(<0.001mm)为147.0~227.0g/kg,其中粗粉粒(0.01~0.05mm)变化在498.0~550.0g/kg。

两地的黑垆土腐殖质层的颗粒组成,陕西长城沿线的淡黑垆土腐殖质层剖面的粘粒(<0.001mm)在102.0~119.0g/kg之间;宁夏南部黄土丘陵区的台坪地黑垆土腐殖质层粘粒(<0.001mm)在188.0~227.0g/kg,虽然两地黑垆土腐殖质层粘粒含量有较大差异,但它们都高于各自的母质,说明在成壤过程中有隐粘化现象。

黄绵土是在地带性土壤黑垆土被剥食以后,在黄土母质上发育的初育土,但是它仍遗留黑垆土成壤过程的痕迹,其颗粒组成特点是剖面分布均匀,但有地域性分异。位于杏子河源头靖边县大洛沟乡的黄绵土土壤剖面颗粒组成:砂粒(1.0~0.05mm)在382.0~498.0g/kg,粉粒(0.001~0.05mm)415.0~541g/kg,其中粗粉粒(0.01~0.05mm)在324~443.0g/kg之间,粘粒(<0.001mm)为70.0~89.0g/kg。剖面90—04位于黄土丘陵区上黄村的黄绵土土壤剖面颗粒组成:砂粒(1.0~0.05mm)为76.0~82.0g/kg,粉粒(0.001~0.05mm)716.0~774.0g/kg,其中粗粉粒(0.01~0.05mm)为524.0~602.0g/kg,粘粒(<0.001mm)在150.0~207.0g/kg。

从上述土壤颗粒组成可以看出,在本区虽然成壤过程影响颗粒组成的变化,但受黄土母质形成的地域性影响,陕北杏子河源头的黑垆土,黄绵土的砂粒在263.0~498.0g/kg,粗粉粒为324.0~442.0g/kg,两者之和在58.7~94.0%。宁夏南部黄土丘陵区的黑垆土、黄绵土的砂粒

63.0~96.0g/kg,粗粉粒498.0~602.0g/kg,两者之和达56.1%~69.8%,在粘粒上有明显的分异。云雾山不同坡向的草地土壤颗粒组成砂粒在50.0~123.0g/kg之间,粉粒在678.0~785.0g/kg范围内,粘粒为108.0~199.0g/kg。各级颗粒组受成壤和风化作用及水土流失的影响虽有差异,但这没有地域性影响大。

2.2 土壤物理特性

2.2.1 土壤容重、孔隙度 黑垆土:一般分布于台坪地的黑垆土目前多开垦,用于农业,受耕作影响较大的是耕作层与犁底层,其容重达 $1.03\sim 1.11\text{g/cm}^3$, $1.15\sim 1.43\text{g/cm}^3$,以下土层的容重相对均一。土壤孔隙度:耕作层总孔隙度58.0%~62.5%,毛管孔隙达42.5%~54.4%,非毛管孔隙在8.1%~16.4%。据研究耕层 $>10\text{cm}$ (李玉山,1961)为良好结构(即非毛管孔隙/毛管孔隙 $\times 100$,以下皆同),黑垆土的耕层结构在14.9~38.6,对作物生长、田间管理和接纳降水等方面而言,为良好结构。但在长期耕作影响下,犁底层的毛管孔隙43.3%~50.9%,非毛管孔隙仅为3.7%~7.1%,以土层的毛管孔隙,非毛管孔隙度较均一。

黄绵土:耕作层的容重 $<1.15\text{g/cm}^3$,以下土层容重虽有所增加,但又较均一,毛管孔隙在 $>45.0\%$ 以上,总孔隙 $>50.0\%$ 以上,除耕层外都较均一。

阳坡土壤:阳坡土壤表层的容重在 $1.01\sim 1.22\text{g/cm}^3$,总孔隙达45.8%~62.6%,非毛管孔隙在47.2%~51.1%,以下土层容重增加,总孔隙度降低,但对剖面质地组成的影响较大。

2.2.2 主要层次的水分常数 最大吸湿水:一般 $<4.5\%$,除黑垆土的腐殖层略高外,黑垆土的其它层次,黄绵土或者阳坡土壤相对较小。凋萎湿度一般 $<6.0\%$,其变化趋势基本同上,据观测宁南黄土丘陵区土壤田间持水量在20.0%~24.0%范围内。

本区土壤毛管孔隙发育,一般 $<45.0\%$,田间持水量较高。田间持水量的高低与土壤颗粒组成有关。在研究黄土高原土壤水分常数时,还应特别注意黄土降尘的结构性。本地区域土壤毛管孔隙发育,高于汾渭盆地主要土壤——塬土5.0%~10%。由于土壤毛管孔隙发育,毛管作用强烈,直接影响土壤蓄水保墒。黑垆土、黄绵土虽然有较高的田间持水量,但本地区气候干燥,蒸发强烈,有强烈的液态水上行移动性,因之田间稳定湿度比较低。在汾渭盆地的塬土,夏秋季深层土壤水分得到恢复后,虽经秋末冬初土壤液态水上移损失期和冬季上层土壤水分缓慢的蒸发,但土壤田间稳定湿度比较高,深层贮存水分可维持到翌年,供作物利用,故本地区有“麦收隔年墒”的说法。在墒情好的情况下,土壤供应养分的能力也强,所以汾渭盆地塬土的小麦比较高产稳产。本区域内的黑垆土、黑绵土则不同,虽然田间持水量略低于汾渭盆地的塬土,但由于毛管孔隙发育,土壤液态水上行移动相当活跃,夏末秋季接纳降水,在秋末冬初液态水缓慢上行期和春季冻融后,强烈蒸发使土壤水分损失量大,田间稳定湿度低,土层储存水量少,加之土壤相对瘠薄,黑垆土、黄绵土等土壤抗旱能力的弱点就充分表现出来。

2.2.3 农地、草地土壤渗透性能 草地土壤渗透性显著高于农地,沙棘地表层土壤不稳定阶段渗透速度 K_1 值为 $73.34\sim 14.09\text{mm/min}$ 。稳定阶段为 $12.40\sim 9.48\text{mm/min}$;6年生沙打旺地的稳定阶段为 $0.760\sim 0.91\text{mm/min}$,马芽草处于前两者之间;农地最低,稳定阶段为 $0.67\sim 0.324\text{mm/min}$,农地的稳定阶段渗透速度 K_1 值为草地的 $1/11.4\sim 1/13.39$,说明草地在增加土壤渗透速率方面有着良好的作用。草地增加土壤渗透速率主要植物的凋落物、根系及其残体增加了土壤的有机质和团粒结构。一般而言草地土壤有机质含量高于农田土壤有机质含量3~4倍到7~8倍。农田容重高于草地 $0.20\sim 0.08\text{g/cm}^3$,土壤有机质的增加,物理性质的改变使渗透速度增加,这是草地对降水、径流的调节功能之一,也可达到降水就地入渗之目的。

3 草地土壤的化学性质

3.1 黑垆土

黑垆土有机质含量在5.36~16.49g/kg,一般是表层高,向下层逐渐降低。据测定:陕北杏子河流域黑垆土有机质剖面,pH:8.27~8.36,母质8.47;宁南黄土丘陵区黑垆土剖面8.09~8.13,两地黑垆土pH值是有差异的。为进一步说明黑垆土pH的变化,把宁南黄土丘陵区的黑垆土、黄绵土加以比较,结构黑垆土剖面有机质pH较黄绵土低0.2~0.3。

碳酸盐的含量与分布:黑垆土碳酸钙有明显的淋溶、淀积过程。但是碳酸盐的形态主要是白色假菌丝体与菌膜,在有机质层含量72.8~118.3g/kg,淀积层为101.5~142.7g/kg,且两地黑垆土碳酸盐淋溶、淀积的强度有所差异。

非代换性钾(简称knex,下同)的含量与剖面分布:土壤knex的含量不仅是土壤供钾能力的指标,能反映土壤钾素供应能力和肥力水平,而且它受成壤母质、风化条件等影响,反映了土类的特点,根据黄土高原黑垆土knex剖面的含量与分布的形态,可分为3种类型,反映不同地域黑垆土成壤过程特点。此次论述的地区基本上是二、三类型,即土壤knex在剖面分布符合指数回归 $y = ae^{bx}$ 。在沟掌或台坪地水热状况良好的地块土壤knex在剖面分布呈“S”型。

土壤氮、磷、钾的含量与剖面分布:黑垆土的氮、磷、钾含量分别为0.461~1.028g/kg,1.16~1.63g/kg和21.7~25.3g/kg,速效态氮、磷、钾含量分别为19.1~37.2mg/kg,0.7~10.3mg/kg和45.0~219.0mg/kg,其分布与有机质在剖面的趋势基本是一致的。

土壤微量元素含量与分布:基本上表层高下层低。

3.2 黄绵土

黄绵土有机质、碳酸盐、pH与剖面分布:黄绵土有机质、碳酸盐和pH列表,分别在2.25~10.20g/kg,104.3~148.6g/kg和8.14~8.67。土壤碳酸盐、pH本地域内差异不大,但土壤有机质含量,陕北长城沿线的中、西部低,而宁夏南部黄土丘陵区较高。其原因之一是地势逐渐抬高,其二是气温有所降低。

黄绵土knex的剖面分布:黄绵土knex含量在467.2~1174.2mg/kg范围。knex在剖面呈现表层或者耕层高,犁底层低,在50cm以上土层又有所增高。在黄土丘陵区,黄绵土knex在剖面中的分布形态与黑垆土、楼土knex在剖面的分布形态完全不相同,但这种形态是黄绵土发育形成产物,还是黑垆土剥蚀殆尽的残留,或者两者都有。若是黑垆土剥蚀殆尽的残留或者说主要是残留,那么它对研究黄土高原的土壤侵蚀程度及其指标体系有着重要理论意义和实用价值。

黄绵土氮、磷、钾:黄绵土氮、磷、钾含量分别是0.177~0.727g/kg,0.95~1.40g/kg和19.6~26.9g/kg,一般表层高,以下土层较为均一,氮、磷、钾的有效含量为13.3~37.5g/kg,0.3~8.4g/kg和37.0~199.0g/kg,剖面分布表层高,下层低,降低的过程是逐渐的。

土壤微量元素的含量分布:土壤有效态Cu、Zn、Mn、Fe、Mo含量分别为0.24~0.94mg/kg,0.12~0.40mg/kg,1.63~7.58mg/kg,1.20~3.74mg/kg,0.010~0.79mg/kg,Cu、Zn、Mn、Fe的含量是表层高而表层以下低,但Mo是例外的。

3.3 云雾山阳坡土壤化学性质

云雾山自然保护区位于宁夏固原县城东北,海拔1800~2100m,年平均温度4~6℃,7月份平均气温17~19℃,1月份平均气温-6~-8℃,>0℃积温2370~2882℃,>10℃积温

2 000℃~2 250℃,无霜期平均为112~137d,年降水量400~450mm,年平均干燥度1.68,属于半干旱区。

3.4 不同坡向土壤碳酸盐、pH 变化

(1)不同坡向土壤碳酸盐、pH 变化:南坡>西坡>北坡;从坡向来说 pH 变化南坡>西坡>北坡。

(2)不同坡向的全氮、磷、钾含量:北坡>西坡>东坡。3个坡向的全氮在剖面分布符合指数回归 $y = ae^{-bx}$, r 分别达 -0.9634^{**} , -0.9450 , -0.9447 , 全磷、全钾受成壤母质的影响,从表层到底土层有增高趋势,在森林土壤的全钾在剖面呈指数关系。 $y = 3.1920e^{-44.2418/x}$, $r = -0.8299^{**}$, 即0~8cm 是逐渐增加的,8~44cm 剧增,44cm 以下增加缓慢并趋于稳定,它与植物枯枝落叶含钾量与黄土母质含钾量差异有关。

(3)不同坡向土壤有效态氮、磷、钾的含量与剖面分布:土壤有效态氮、磷、钾的含量与分布:北坡>西坡>南坡。三个坡向有效态氮、磷在剖面符合指数回归 $y = ae^{-bx}$, 一般达0.01显著水平,有效态钾(含 knex)在剖面分布符合幂函数 $y = ax^{-b}$, 也达到0.01显著水平。

(4)不同坡向土壤有机质含量与分布,3个坡向有机质含量表明北坡>西坡>南坡。

综上所述,云雾山自然保护区3个坡向有机质、养分含量及有效态因坡向有明显差异。表现为:北坡高,南坡低,西坡处于中间,pH、CaCO₃则南坡高,北坡低,西坡居中。造成北种情况主要是不同坡向的光照、辐射、温度与水分状况等自然因素影响植被类型、品种、生物量及土壤剥蚀、水土流失的强弱等生态环境方面的差异,进而影响有机质的分解累积等。

4 草地、农地营养物质的迁移与富集

4.1 草地、农地生态因子的差异

黄土丘陵区草地、农地生态因子有明显差异,现以宁南黄土丘陵区云雾山自然保护区草地土壤与上黄村农地土壤为例加以讨论:

(1)土壤有机质含量与分布:云雾山自然区草地表层含量36.22~57.06g/kg,以下土层为12.32~35.14g/kg,农田表层有机质含量13.38g/kg,以下土层为3.48~10.47g/kg。由于土壤有机质含量差别极显著,从而引起土壤理化性质的差异,碳酸盐等化学性质的差异。

(2)pH:草地土壤0~15cmpH 在7.94~8.25,以下土层则为8.25~8.46,而农田土壤0~30cm 为8.29~8.33,以下土层为8.17~8.19,草地土壤表层明显低于农田,以下土层差异虽有,但较小。

(3)CaCO₃含量与分布:草地土壤0~50cm CaCO₃为6.0~26.7g/kg,以下土层随着土壤深度的增加 CaCO₃含量有所增高;而农田土壤 CaCO₃在133.8~160.5g/kg 之间。

所以草地与农地在化学性质上有显著差异,这些差异是草地与农田枯枝落叶归还土壤与矿化分解速度和过程不同之故。

4.2 草地土壤物流迁移与农田土壤物流富集

黄土丘陵区草地生态系统属开放型生态系统,特别是人为因素介入后,加速了草地水土流失和物流的迁移,这是草地生态系统生产力退化的根本原因之一。

草地土壤物流迁移,肥力水平低下。以宁南黄土丘陵区固原上黄村草地土壤营养元素的含量多寡加以讨论与分析。

草地、轮荒地、农地 pH、CaCO₃含量及在剖面分布没有明显差异。

土壤有机质含量和氮、磷、钾全量:草地稍高于农地;有效态氮、钾高于农地,而有效态磷农地高于草地,有效态锰、铁草地稍高外,其它差异不明显。

随着草地的开垦与利用,在没有一定的农田保护工程时,加速了水土流失与草地肥力的退化,也使水土流失严重。

4.3 农地物流富集,农地草地比例失调

黄土丘陵区草地生态系统,基土壤物流完全是一种开放型的物流循环系统,由于长期过牧和刈割,草地输出大于输入,造成物流减少,以至亏缺,比例失调,特别是磷钾和一些微量元素。

农地生态系统虽然也是一个开放型的生态系统,但由于人们的生存和本能,对这个生态系统在自然条件下不断的输入,以保证农作物生长发育最基本的物质元素。在自然状态下,这些物质元素主要取决于草地,致使农地物流富集,在自然状态下,输入和输出比例失调,氮磷含量相对较低,钾素较高。农地土壤生态系统中土壤速效钾含量变化在 $223.0 \times 10^{-6} \sim 493.0 \times 10^{-6}$,平均值位 324.0×10^{-6} ,在这梁状丘陵区农地特有,而在黄土高原其它地区是少见的。农地营养元素的富集致使N、P、K比例失调,宁南黄土丘陵区N:P:K为1:0.26:7.83;陕北黄土丘陵区的西部为1:0.13:5.03。

草地生态系统营养元素迁移,造成草地土壤肥力瘠薄,营养元素比例失调;宁夏南部黄土丘陵区草地土壤N:P:K为1:0.067:2.21,陕北黄土丘陵区草地N:P:K为1.0:0.081:3.98。

黄土丘陵区草地、农地生态系统是相互依存、转化,相互联系,互为条件的开放型的,脆弱的生态系统。在目前生产条件和人为干预下,农地生态系统营养元素比例失调。

4.4 草地氮、磷、钾迁出量与强度

为进一步探讨该地区复合生态系统物流的流向、数量、强度,特别在人为因素干预下的变化。现把10余年的观测计算结果讨论如下。

(1)氮素(以纯氮计,下同)氮素输出后一般认为主要依靠生物固氮,牛、羊等家畜放牧是零星的粪便及天然降水中的氮素补充,来维持一定水平的生产力。

(2)磷素(以纯磷计,下同)在种植沙打旺时,仅沙打旺输出量354.0~2 653.0kg,较天然草地增加了73%~188%。

(3)钾素(纯钾,下同)输出量,种植沙打旺后输出量3 223.0~23 444kg,增加了89.0%~98.0%。

在草地土壤生态系统中土壤磷、钾一般补充的较少。种植人工豆科牧草沙打旺、草木樨等,则输出量成倍增加。随着牧草的刈割、输出,不仅有大量元素输出,而且有微量元素或其它元素,在人为作用下,输出量将大大增加。

黄土丘陵区草地土壤肥力退化主要原因之一是掠夺经营管理的结果,在没有营养物质输入的情况下,草地土壤肥力退化,人为作用参与将使这种过程加剧。但由于黄土深厚、疏松,深层储备一定数量的营养物质,采用“以肥调水”“以物调肥”等,合理搭配豆科、禾本科,深根、浅根植物配合等农业技术措施,还可使草地土壤肥力提高,保持草地牧草持续增产、促进牧业发展,水土流失也将得到进一步控制。

5 深层土壤营养元素迁移富集

5.1 土壤的物流性质与生态环境

深层土壤颗粒组成:宁夏南部黄土丘陵区土壤颗粒组成均一,疏松,有利于植物根系下扎。

5.2 土壤营养元素的含量与分布

有机质含量与分布相对均一,有效态磷、钾含量与分布,有效态随深度增加由低逐渐增高时,尤其在500~800cm土层有效磷的含量之高,有时在表层或者一些远离村庄的农地也是少见的。深层含有效态磷之丰富,对种植深根系的牧草,尤其是豆科牧草有着特别重要的生物学与生产意义。黄土高原的土壤一般富含碳酸钙,由于钙的作用,易把有效态磷变成磷酸二钙、磷酸三钙,成为无效态,所以富含碳酸钙的黄土易缺磷。但是一些牧草对磷酸反应很敏感,单施磷肥就有明显的增产效应和“以磷增氮”的效应。利用豆科牧草沙打旺、苜蓿、草木樨、红豆草、尤其在黄土丘陵区种植沙打旺,红豆草,充分利用豆科牧草直根系,它们可以深扎0~8m,深者超过10m。其作用:首先利用深层的有效态磷素,满足自身生长发育的需要,第二可以达到“生物聚肥”,使深层土层的有效态磷在生物作用下向上迁移,在表层或者一定深度富集。在黄土高原“生物聚肥”,扩大了生物利用营养元素的容积。

(上接第102页)

解剖学特性看,沙棘叶具发达的表皮毛、较厚的角质层及发达的栅栏组织细胞,其根的周皮薄壁细胞及细胞间隙较大,这些特性是沙棘抗寒、耐大气干旱、抗高温和耐水湿,适应黄土高原半干旱地区环境条件的主要原因。

(2)沙棘对土壤水分的利用可分为:根系微弱利用层、根系利用层、土壤水分补充调节层和微调节层。沙棘随林龄增加,土壤水分亏缺严重,但上层1~1.5m土壤水分恢复较好,土壤含水量可超过或接近荒山植被。

(3)通过选择适宜造林立地条件,掌握好种植密度和加强成林过程中的抚育管理,特别是水、肥管理,可提高沙棘水分利用效率。

今后可进一步研究黄土高原半干旱区沙棘水分生产力与水分平衡规律。为使黄土高原大面积荒山、荒沟迅速得到治理,充分利用水土资源,提高土地生产力,为更好地开发利用沙棘资源作出努力。

致谢:参加本试验工作的还有水土保持研究所:梁一民、从心海、施立民、郭忠升、姜峻、黄瑾。西北植物研究所张遂中研究员作了沙棘形态解剖部分工作,特表感谢。

参考文献

- 1 李代琼,从心海,梁一民.黄土高原半干旱区沙棘林净初级生产量与耗水量研究.水土保持通报,1990,10(6):91~97
- 2 李代琼,刘向东,吴钦孝等.宁南5种灌木林蒸腾和水分利用率试验研究.中国科学院水利部西北水土保持研究集刊,1991,14:27~38
- 3 傅佐,周泽生,王哈生等.黄土高原主要能源植物水分生理指标及抗旱力的研究.中国科学院水利部西北水土保持研究所集刊,1992,15:83~90
- 4 韩蕊莲,梁宗锁,邹厚远.在土壤不同干旱条件下沙棘耗水特性的初步研究.沙棘,1991,4:33~38
- 5 Chang jike,Chang xiaomin,wu fuheng,qian weiming,A Research into downiness of Hippophae rhamnoides-Linn Subspecies sinensis Rousi.international symposium on seabuckthorn.1993,8:259~260
- 6 刘怀德.沙棘叶片表皮毛的观察研究.林业科技通讯,1988,12,26