

# 青海主要枸杞产区不同耕作措施对灰棕漠土理化性质影响及肥力综合评价

杨一凡<sup>1</sup>, 吴发启<sup>2</sup>, 段红腾<sup>1</sup>, 徐宁<sup>1</sup>

(1.西北农林科技大学 水土保持研究所, 陕西 杨凌 712100; 2.西北农林科技大学 资源环境学院, 陕西 杨凌 712100)

**摘要:**为进一步探明青海主要枸杞产区不同耕作措施下灰棕漠土的理化特性,科学评价干旱区土壤综合肥力并提高枸杞产区的生态及经济效益。以青海主要枸杞产区不同耕作措施下的枸杞地土壤为研究对象,平作露地种植为对照,研究了沟垄种植和覆膜处理对灰棕漠土的土壤颗粒组成及土壤养分的影响,采用改进的 Nemerow 综合指数法分析了土壤肥力。结果表明:(1) 研究区土壤含沙量较高,砂粒含量为 61.44%~85.59%。改善作用最好的红枸杞沟垄覆膜处理相比于对照处理土壤砂粒含量减少了 39.31%。(2) 研究区土壤呈现出 pH 值偏高,钾素正常,有机质、氮素、磷素缺乏的现状。从垂直方向来看,土壤各养分指标随土层深度的增加而降低;不同耕作措施之间表现为,除速效磷和 pH 值外,其余养分指标红枸杞沟垄覆膜处理均高于其他处理,沟垄覆膜的改善作用较为明显。土壤养分指标变异系数为 4.27%~50.81%,其中 pH 值的变异系数最小,速效氮最大,且速效养分的变异系数均大于对应的全量养分的变异系数。(3) 土壤肥力综合评价排序为:沟垄覆膜措施>平作覆膜措施>沟垄露地措施>平作露地处理。在试验区独特的气候条件下,覆膜措施相比于露地种植的提升效果优于沟垄措施相比于平地种植的提升效果。其中沟垄覆膜处理相比于对照处理土壤综合肥力指数提高了 43.33%。因此,在青海主要枸杞产区,沟垄覆膜种植相较于其他耕作措施,不仅具有减弱侵蚀的作用,而且更有利于土壤保土保肥,应予以推广。

**关键词:**枸杞; 沟垄覆膜; 土壤养分; 土壤综合肥力指数

**中图分类号:**S152.3; S153.6; S158.2

**文献标识码:**A

**文章编号:**1005-3409(2020)02-0001-08

## Effects of Different Tillage Measures on Physical and Chemical Properties of Gray Brown Desert Soil and Comprehensive Evaluation of Fertility in Major Wolfberry Production Areas of Qinghai

YANG Yifan<sup>1</sup>, WU Faqi<sup>2</sup>, DUAN Hongteng<sup>1</sup>, XU Ning<sup>1</sup>

(1. *Institute of Soil and Water Conservation, Northwest A&F University, Yangling, Shaanxi 712100, China*;  
2. *College of Natural Resources and Environment, Northwest A&F University, Yangling, Shaanxi 712100, China*)

**Abstract:** In order to further explore the physical and chemical properties of grey brown desert soil under different tillage measures in the main wolfberry production areas in Qinghai, scientifically evaluate the comprehensive soil fertility in arid areas and improve the ecological and economic benefits of the wolfberry production areas, an experiment was conducted to study the soil under the different tillage measures in the main production areas of Qinghai, and the flat land and bare land was used as the control. The soil granule composition and soil nutrient of gray-brown desert soil were studied under ridge planting and mulching treatment. The improved Nemerow comprehensive index method was used to analyze soil comprehensive fertility. The results show that: (1) the soil in the study area has a high sand concentration, and the sand content ranges between 61.44% and 85.59%; content of soil sand decreases by 39.31% under the mulch film treatment compared with the control treatment; (2) the soil in the study area shows the high pH value, average potassium, and the insufficiency of organic matter, nitrogen and phosphorus; from the vertical direction, the soil nutrient index decreases with the increase of soil depth; the results of different tillage measures show

收稿日期:2019-05-01

修回日期:2019-05-20

资助项目:“十三五”国家重点研发计划课题“河源区及干旱区降雨径流挖潜与高效利用技术”(2017YFC0403600)

第一作者:杨一凡(1995—),男,陕西铜川人,硕士,研究方向为土壤侵蚀。E-mail:493803843@qq.com

通信作者:吴发启(1957—),男,陕西黄陵人,教授,博士生导师,主要从事土壤侵蚀研究。E-mail:wufaqi@263.net

that the nutrient indicators are higher than other treatments except for available phosphorus and pH value; the improvement effect of the furrow and mulch film is more obvious; the coefficient of variation of soil nutrient index is between 4.27% and 50.81%, among which the coefficient of variation of pH value is the smallest, the amount of available nitrogen is the largest, and the coefficient of variation of available nutrients is greater than the coefficient of variation of the corresponding total nutrient; (3) the comprehensive evaluation values of soil fertility decreased in the order: ridge-furrow and film cover > flat land and film cover > ridge-furrow and bare land > flat land and bare land. In the unique climatic conditions of the test area, the improvement effect of the mulch measures compared to the open field planting is better than that of the ridge ridge measures compared to the flat planting. Among them, the mulch treatment increases the soil comprehensive fertility index by 43.33% compared with the control treatment. Therefore, in the main wolfberry production areas of Qinghai, the furrow and mulch film planting patterns not only have the effect of reducing the erosion, but also are more conducive to the soil conservation and fertilizer conservation, and should be promoted.

**Keywords:** wolfberry; ridge-furrow and film cover; soil nutrient; soil comprehensive fertility index

土壤养分和机械组成作为土壤的重要属性,是土壤母质、气候、土地利用方式和人为耕作管理等各种因素共同作用的结果<sup>[1-2]</sup>。土壤养分的不足会导致土壤肥力退化进而影响作物的产量,通过合理选择耕作措施,调节土壤养分的循环与平衡是提高土壤肥力的重要手段<sup>[3]</sup>。目前,随着农业发展的现代化,如何维持和提高土壤肥力状况已经成为农业可持续发展的热点问题<sup>[4]</sup>。保护性耕作措施作为发展可持续农业的一项重要技术,包括少免耕、地膜覆盖、沟垄种植等措施<sup>[5]</sup>。相比于传统耕作,保护性耕作能显著减少水土流失,对提高土壤肥力,增加农地产量等贡献突出。因此,研究耕作措施对土壤理化性质的影响对于提高农田生产力、减少干旱区侵蚀等具有重要意义。

枸杞具有耐寒、耐旱、适应性强、材质优、效益高等特点<sup>[6]</sup>,同时又具有较好的生态及经济效益。随着枸杞种植带来的经济效益逐年递增,枸杞种植区往往通过不断扩大种植面积的方式来增加收入,从而忽略了土壤肥力、耕作措施、优化施肥等的重要性。结果导致土壤肥力下降,枸杞的单位面积产量偏低。目前研究区只有小面积的枸杞地采用沟垄覆膜的耕作方式,70%以上的区域仍然沿用传统的平作露地种植方式。因此对枸杞种植区现有的耕作措施进行综合对比,科学评价不同措施下的土壤肥力的差异很有意义。

目前对青海枸杞主要种植区土壤理化性质的研究较少。以往对青海土壤研究多集中在宏观的土地利用状况<sup>[7]</sup>。部分学者对土壤的研究只限于单个元素的基础上。邱权等<sup>[8]</sup>的研究结果表明,不同深度的土壤与养分含量间存在一定的差异性,但两者间的变化规律不明显。陈辉<sup>[9]</sup>对柴达木盆地东部土壤有机质分布规律进行了研究,得出土壤有机质的积累与土壤的理化性质密切相关,并随生物气候条件的变化呈

地域性更替。在耕作措施方面,研究大多以小麦,玉米等作物的土壤作为研究对象<sup>[10]</sup>,而以枸杞地土壤作为研究对象探究不同耕作措施对土壤理化性质的影响少之又少。因此,本研究从改善枸杞地土壤理化性质角度出发,探究不同耕作措施(平作露地、平作覆膜、沟垄露地、沟垄覆膜)对灰棕漠土理化性质的影响,并对 4 种耕作措施下的土壤肥力进行综合评价,以期查明该区域枸杞种植地土壤养分状况,为青海省枸杞主要种植区选择合理的耕作措施、提高土壤肥力提供科学依据。

## 1 试验材料与方法

### 1.1 研究区概况

研究区位于青海省德令哈市怀头他拉镇,海拔 2 800~3 000 m,年均降雨量约 120 mm,蒸发量 2 736 mm,年均气温 4.32℃。主要土壤类型是灰棕漠土,质地为砂质壤土。枸杞园建立在平原上,种植面积共 2 800 hm<sup>2</sup>。20 世纪初政府对耕地进行了土地治理,开始了枸杞的产业化发展。由于该地区土壤质地粗、多砾石、保水性差,再加之降雨量少,蒸发量大,因此枸杞地水分与肥料供给采用滴灌,水肥一体化如今已初成规模并投入使用。

### 1.2 样地选择及样品采集

研究区枸杞地共分为 4 种不同的类型:沟垄露地种植(HLL)、沟垄覆膜种植(HLM)、平作露地种植(HPL)、平作覆膜种植(HPM),枸杞均为 6 年生且未种枸杞前立地条件基本一致。本试验以上述 4 种枸杞地为研究对象,平作露地作为对照,研究区建有水肥一体化车间,因此所有枸杞地的灌水量和施肥量都相同。试验用土取自上述 4 种不同耕作措施的枸杞地,在每种枸杞地选择 3 个采样小区作为重复。于

2018年5月进行了调查和布点,将采样点平均分布于每个采样小区,使其点位均匀分布,利用土钻分层取0—20 cm和20—40 cm深度的土样,根据不同采样小区的面积大小,在同一小区取15个点,土样的采集使用“S”型取样法。采集的样品放置于室内风干,将风干后的土样研磨,并对样品进行前期处理。

### 1.3 样品测定

对样品各指标进行测定,具体的测定方法见表1。

表1 土壤理化性质测定指标及方法

指标	测量方法
土壤颗粒组成	激光粒度仪
土壤速效氮(AN)	氯化钾浸提—流动注射分析仪法
土壤速效磷(AP)	碳酸氢钠浸提—钼锑抗比色法
土壤速效钾(AK)	乙酸铵浸提—火焰光度计法
土壤有机质(OM)	重铬酸钾容量法
土壤全氮(TN)	凯氏定氮法
土壤全磷(TP)	消煮钼酸铵比色法
土壤全钾(TK)	硫酸—高氯酸消煮—火焰光度计法
pH值	2.5:1水土比酸度计法

### 1.4 数据处理

所有样品都通过3次重复,并以平均值加误差线的形式表示,采用Excel 2007进行数据整理和制表,采用SPSS 21.0软件进行方差分析、相关性分析、土壤养分特征指标的统计分析,采用Origin 8.0进行绘图。

土壤肥力综合评价采用改进的Nemerow综合指数法<sup>[11-12]</sup>,具体步骤如下:

本研究参数的选择以及各属性因子的分类标准主要参照全国第二次土壤普查分级标准<sup>[13]</sup>,见表2。参数包含:速效氮、速效磷、速效钾、有机质、全氮、全磷、全钾、pH值。以上选取的各个参数之间不可直接加和,为了消除各参数间量纲的差别,先要进行标

准化处理,方法如下:

当属性值属于差一级时,即 $C_i < X_a$ 时:

$$P_i = \frac{C_i}{X_a} \quad (P_i \leq 1) \quad (1)$$

当属性值属于中等一级时,即 $X_a < C_i < X_c$ 。

$$P_i = 1 + \frac{(C_i - X_a)}{(X_c - X_a)} \quad (1 < P_i \leq 2) \quad (2)$$

当属性值属于较好一级时,即 $X_c < C_i < X_p$ 。

$$P_i = 2 + \frac{(C_i - X_c)}{(X_p - X_c)} \quad (2 < P_i \leq 3) \quad (3)$$

当属性值属于好一级时,即 $C_i > X_p$ 时:

$$P_i = 3 \quad (4)$$

式中: $P_i$ 为肥力指数; $C_i$ 为某属性测定值; $X_a$ 、 $X_c$ 、 $X_p$ 为土壤各属性因子值的分级标准。通过上述公式的标准化得到的各项土壤肥力指数比较接近且具有可比性,最切合实际的是:当有的指标测定值超过好的标准 $X_p$ 时,测定值将不再升高,体现了作物生长发育中对某些属性的需求量存在一个上限阈值<sup>[14]</sup>,并非越高越好。以上公式虽然可以计算出各单项指标的分肥力指数,但用其直接评价土壤肥力水平缺乏科学性与严谨性,因此,采用改进的Nemerow综合指数法计算综合肥力指数。公式如下:

$$P_s = \sqrt{\frac{P_{i\text{avg}}^2 + P_{i\text{min}}^2}{2}} \cdot \left(\frac{n-1}{n}\right) \quad (5)$$

式中: $P_s$ 为土壤综合肥力指数; $P_{i\text{avg}}$ 为土壤各属性肥力指数的平均值; $P_{i\text{min}}$ 为各分肥力指数中的最小值; $n$ 为参评因子数量。为了突出最差养分指标对土壤肥力的影响,反映植株生长的最小因子律,原内梅罗式中的 $P_{i\text{max}}$ 被修正的内梅罗式中用 $P_{i\text{min}}$ 取代,增加修正项 $(n-1)/n$ 来反映可信度,即评价指标越多,可信度越高。

表2 土壤各属性的分级标准

土壤属性	AN/ ( $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ )	AP/ ( $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ )	AK/ ( $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ )	OM/ ( $\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$ )	TN/ ( $\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$ )	TP/ ( $\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$ )	TK/ ( $\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$ )	pH值 ( $<7.0$ )	pH值 ( $\geq 7.0$ )
$X_a$	60	5	50	10	0.75	0.4	10	4.5	9
$X_c$	90	10	100	20	1.00	0.6	15	5.5	8
$X_p$	120	20	150	30	1.50	0.8	20	6.5	7

## 2 结果与分析

### 2.1 不同耕作措施土壤机械组成比较

本研究中采用中国制土壤质地分类标准。4种耕作措施下0—40 cm土层土壤机械组成见表3,砂粒含量( $>0.05$  mm)为61.44%~91.72%,粉粒(0.002~0.05 mm)含量为7.88%~35.50%,黏粒( $<0.002$  mm)含量为0.24%~3.06%。研究区砂粒含量很高,粉粒含量相对较少,黏粒含量极其少,这除

与成土母质有关外,还与当地的侵蚀方式有关,由于该地区风沙侵蚀严重,研究区又地处平原,因此质地较轻的粉粒和黏粒被不断的搬移,质地较重的砂粒的质量分数会变大。4种处理不同土层之间表现出:砂粒含量0—20 cm土层均小于20—40 cm土层;粉粒含量0—20 cm土层均大于20—40 cm土层;黏粒含量除红枸杞平地露地外,其余均表现出0—20 cm土层大于20—40 cm土层。相同土层不同处理之间土壤颗粒组成也呈现出一定的差异:红枸杞平地露地两

个土层砂粒含量均显著高于其他样地,差异性极其显著( $p < 0.05$ );红枸杞沟垄覆膜的两个土层粉粒和黏粒含量均显著高于其他样地。

不同耕作措施条件下,砂粒含量表现为平作露地>沟垄露地>平作覆膜>沟垄覆膜,说明覆膜和沟垄种植不仅能显著减弱风蚀对土壤机械组成的影响,同时也能改良土壤的机械组成。

## 2.2 研究区土壤养分统计

将所取土壤的 8 项养分指标进行汇总,得到不同耕作措施下不同土层养分的平均状况(表 4)。结果表明,研究区土壤养分差异明显。综合两个土层分析,速效氮、有机质、全氮:HLM>HPM>HLL>HPL;速效钾、全钾:HLM>HPL>HPM>HLL;速效磷:HLL>HPL>HLM>HPM;pH 值:HPL>HPM>HLM>HLL;全

钾:HLL 措施显著高于其他措施。

表 3 土壤颗粒组成

样地	土层/cm	土壤机械组成/%		
		黏粒 <0.002 mm	粉粒 0.002~0.05 mm	砂粒 >0.05 mm
HPL	0—20	0.24±0.06d	15.62±0.57d	84.14±0.58a
	20—40	0.44±0.28b	13.97±1.03c	85.59±1.31a
HPM	0—20	1.36±0.45b	31.08±1.76b	67.57±2.16c
	20—40	0.94±0.08a	23.34±1.77b	75.71±1.83b
HLL	0—20	0.79±0.16c	19.05±2.40c	80.16±2.37b
	20—40	0.57±0.15b	15.01±1.06c	84.42±1.21a
HLM	0—20	3.06±0.27a	35.50±1.80a	61.44±2.04d
	20—40	0.73±0.02ab	25.85±0.52a	73.42±0.53b

注:此表为 1987 年中国制,不同字母表示不同样地指标之间差异显著( $p < 0.05$ ),下表同。

表 4 不同耕作措施土壤养分特征

耕作措施	深度	AN/ ( $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ )	AP/ ( $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ )	AK/ ( $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ )	OM/ ( $\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$ )	TN/ ( $\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$ )	TP/ ( $\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$ )	TK/ ( $\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$ )	pH 值
HPL	0—20	31.13±11.28c	8.29±0.88a	155.80±28.09ab	5.02±0.57c	0.24±0.04c	0.41±0.03b	14.85±0.52b	8.63±0.36a
	20—40	4.48±0.30c	4.55±0.21a	113.33±8.74b	4.34±0.31b	0.19±0.02c	0.40±0.04b	16.00±1.42ab	8.78±0.09a
HPM	0—20	47.68±6.71b	6.10±1.22b	108.50±35.91b	9.39±0.48b	0.44±0.03a	0.45±0.03b	14.46±0.69b	8.02±0.39b
	20—40	7.76±0.47b	4.48±0.13a	97.5±6.35c	6.29±0.37a	0.37±0.01a	0.45±0.02b	15.56±1.09bc	8.19±0.05b
HLL	0—20	39.43±2.71bc	8.75±0.98a	103.10±14.11c	5.74±0.54c	0.33±0.03b	0.47±0.03b	14.09±0.50b	7.94±0.17b
	20—40	7.03±0.20b	4.82±0.24a	93.33±6.03c	4.23±0.52b	0.26±0.01b	0.44±0.02b	14.17±0.23b	7.92±0.09c
HLM	0—20	67.10±8.99a	7.64±0.55a	182.80±52.10a	10.19±0.71a	0.51±0.11a	0.62±0.07a	19.12±0.79a	8.00±0.17b
	20—40	46.72±2.52a	4.70±0.45a	132.00±8.19a	6.10±0.09a	0.34±0.03a	0.54±0.03a	17.73±0.84a	8.01±0.03c

养分指标的变异系数(CV)是土壤性质的内在反映,不仅能反馈不同土壤养分抵抗外界条件的敏感性,而且能反映出土壤养分的空间变异程度<sup>[15]</sup>。将所取的两层土壤养分含量求算术平均并进行统计(表 5),结果表明:土壤平均 pH 值为 8.19,研究区土壤为弱碱性,pH 值的 CV 仅为 4.27%,空间变异性很小。此外,除速效磷外,研究区速效养分的 CV 均大于对

应的全量养分的 CV。这是因为全量养分主要受成土母质中矿物成分的影响,大多以稳态存在。研究区位于平原上,几乎不受坡度因素的影响,成土母质一致并且分布均匀,因此变异系数相对较小。而速效养分与农业生产、管理方式、耕作施肥以及枯落物等因素有很大的关系,因此其变异系数对比于全量养分相对较大。

表 5 研究区土壤养分统计

养分指标	最小值	最大值	级差	均值	标准差	变异系数/%
AN/( $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ )	14.06	60.41	46.35	31.14	15.96	50.81
AP/( $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ )	4.51	7.37	2.86	6.16	0.74	12.01
AK/( $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ )	87.75	182.50	94.75	123.30	28.96	23.49
OM/( $\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$ )	4.35	8.53	4.18	6.41	1.66	25.90
TN/( $\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$ )	0.19	0.52	0.33	0.34	0.09	26.47
TP/( $\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$ )	0.38	0.61	0.23	0.47	0.07	14.89
TK/( $\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$ )	13.77	19.06	5.29	15.75	1.73	10.98
pH 值	7.78	8.92	1.14	8.19	0.36	4.27

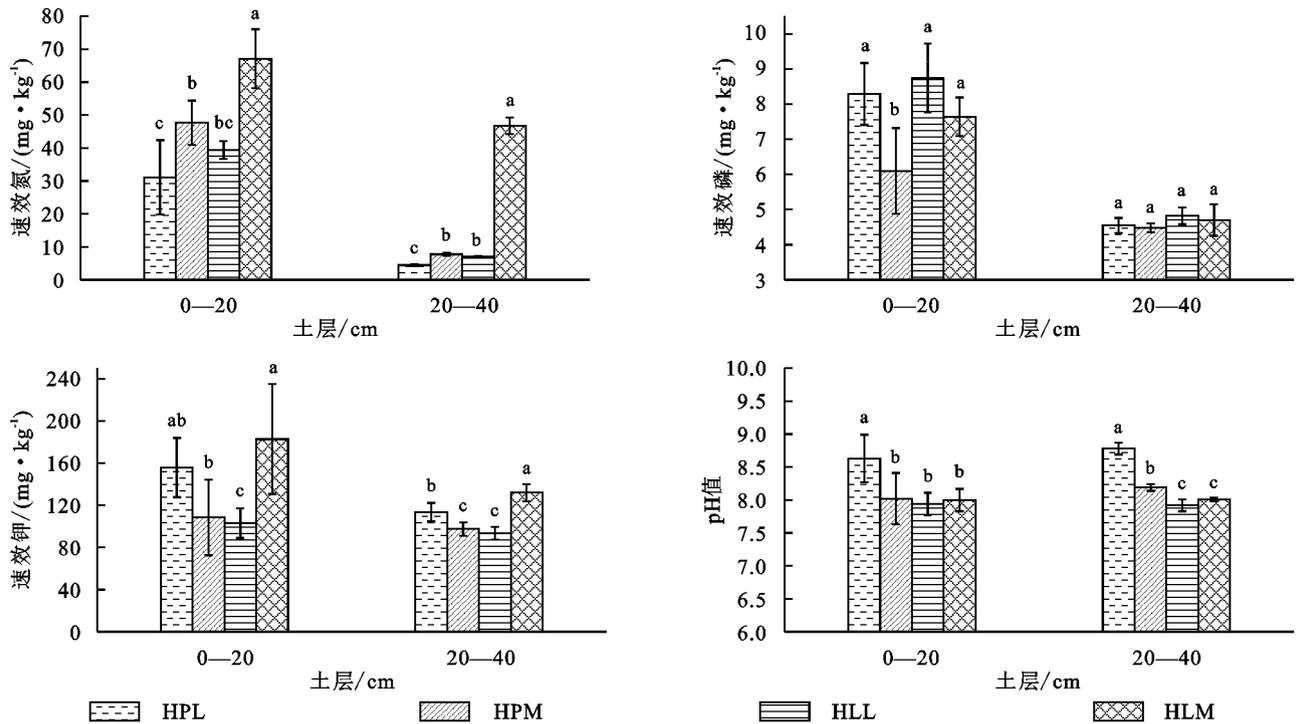
结合统计结果,依据全国第二次土壤普查标准对研究区土壤养分状况进行级别划分,结果表明:全钾和速效钾含量属于 3 级(中等);全磷和速效磷含量属于 4 级(稍缺);速效氮和有机质含量属于 5 级(缺);全氮含量属于 6 级(极缺)。

## 2.3 不同耕作措施土壤 pH 值及速效养分分析

土壤 pH 值是研究土壤理化性质的基础,微生物活动、土壤有机质分解及养分的转化等均与之相关。从整体来看(图 1),土壤 pH 值处于 7.78~8.92,表现为弱碱性。pH 值在不同土层之间差异不大。在不

同耕作措施下,相比于对照,其他处理均能不同程度降低各土层土壤的 pH 值,且差异性显著( $p <$

0.05)。这表明,沟垄覆膜种植一定程度上降低了各土层土壤的 pH 值,这与王东等<sup>[16]</sup>研究结果相似。



注: HPL 为平作露地, HPM 为平作覆膜, HLL 为沟垄露地, HLM 为沟垄覆膜, 下图同。

图 1 不同耕作措施下的 pH 值与速效养分

研究区土壤速效氮和速效磷含量缺乏, 速效钾含量正常。土壤速效氮、速效磷、速效钾的含量均表现为 0—20 cm 土层明显高于 20—40 cm 土层, 其中速效氮和速效磷的垂直方向差异性尤为明显。在不同耕作措施下, 0—20 cm 土层, HLM 处理速效氮比对照 HPL 处理增加了 115.55%, 20—40 cm 土层 HLM 速效氮含量可达 HPL 处理的 10 倍之多。可见, 沟垄覆膜有助于土壤速效氮含量的增加。沟垄措施较平地种植速效磷含量略微有所升高, 然而, 覆膜措施与露地种植相比, 速效磷含量却明显下降。土壤速效钾表现出 0—20 cm 土层含量稍大于 20—40 cm 土层, 水平方向, HLM 处理的速效钾含量均高于其他 3 个处理, 且差异性显著 ( $p < 0.05$ )。

由上可知, 沟垄覆膜综合措施在一定程度上增加了两个土层速效氮和速效钾的含量, 其中速效氮的增幅较明显, 相反覆膜处理却降低了土壤速效磷的含量。

#### 2.4 不同耕作措施土壤有机质及全量养分分析

有机质不仅为植物提供生长所需的营养元素, 而且对土壤结构的形成、土壤保水保土功能的维持起着重要作用<sup>[17]</sup>。由图 2 可知, 4 种耕作措施下的土壤有机质平均含量处于 10 g/kg 以下, 只有 HLM 处理 0—20 cm 土壤有机质大于 10 g/kg, 该地区的土壤有机质含量在 10 g/kg 以下, 灰棕漠土营养贫瘠是致使作物生长乏力的重要因素。从土壤剖面来看, 表层土壤显著高于底层土

壤, 其中 HLM 处理表层土壤有机质比深层土壤提高了 67.04%。说明研究区土层深度显著影响有机质剖面分布, 其规律呈现递减趋势, 这与武小钢<sup>[18]</sup>等的研究结论一致。不同耕作措施之间, 起垄种植与平作相比差异性不明显, 呈现较小波动, 覆膜处理相比于露地种植, 其有机质含量明显提升, 差异性达到显著水平。说明覆膜可以显著提升土壤有机质含量。

研究区土壤全量养分表现出钾素正常, 氮素和磷素缺乏的状况。从土壤剖面看, 表层土壤全氮含量均高于 20—40 cm 土层, 其中 HLM 处理最为明显, 达到 50%, 全磷和全钾含量在垂直方向差异性不显著。不同耕作措施之间, 全量养分变异系数处于 10.98%~26.47%, 差异性与速效养分相比较小, 养分含量均表现出沟垄覆膜处理与其他 3 个处理相比差异性显著, 说明在土壤全量养分方面, 沟垄覆膜处理对氮、磷、钾均具有提升作用。

#### 2.5 土壤养分相关性分析

以研究区整体为对象, 对土壤各个养分指标做相关性分析, 分析结果见表 6。按照两两一组形成 28 组关系, 相关系数的绝对值处于 0.001~0.827。有机质与全氮相关系数最大, 为 0.827。有研究表明, 土壤中的有机肥料是全氮的主要来源, 土壤全氮的 95% 来源于有机质<sup>[19]</sup>, 因此全氮与有机质存在极大的相关性。速效钾与 pH 值间相关系数最小, 为 0.001。速

效氮与所有养分指标都存在极显著性正相关关系;有机质除与速效磷、速效钾无显著性相关外,与其他养分指标都存在极显著性正相关,与 pH 值也存在显著性负相关;说明土壤有机质与速效氮的变化是本研究区其他养分变化的关键原因。pH 值与其他 7 个养分指标的相关性除速效磷外,都是负相关,表明在青海枸杞种植区中 pH 值越低的土壤养分状况越好。

其中与全氮和全磷呈现极显著负相关关系,表明 pH 值对全氮和全磷的影响最为强烈。全氮、全磷、全钾除与速效磷相关性弱外,与其他养分指标都存在显著、极显著的相关性。表明土壤全量养分与除速效磷之外的养分指标关系密切。研究还发现,速效磷除与速效氮极显著正相关外,与其他养分指标都不存在强相关性,具有很好的独立性。

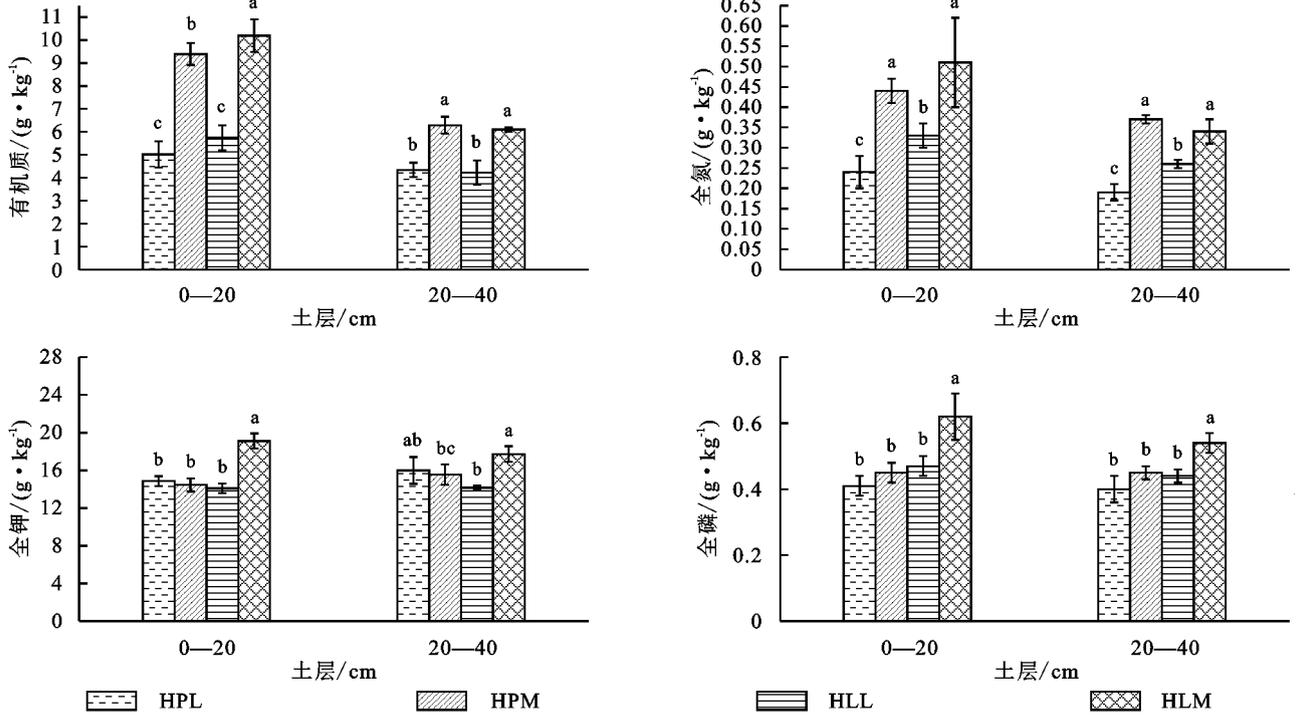


图 2 不同耕作措施下的有机质和全量养分

表 6 研究区总体土壤养分特征指标之间的相关性分析

养分	AN/ (mg·kg <sup>-1</sup> )	AP/ (mg·kg <sup>-1</sup> )	AK/ (mg·kg <sup>-1</sup> )	OM/ (g·kg <sup>-1</sup> )	TN/ (g·kg <sup>-1</sup> )	TP/ (g·kg <sup>-1</sup> )	TK/ (g·kg <sup>-1</sup> )
AP	0.465**						
AK	0.479**	0.328					
OM	0.754**	0.149	0.338				
TN	0.727**	0.121	0.270	0.827**			
TP	0.697**	0.115	0.433*	0.592**	0.738**		
TK	0.470**	-0.114	0.596**	0.503**	0.415*	0.708**	
pH 值	-0.399*	0.059	-0.001	-0.354*	-0.505**	-0.475**	-0.105

注: \* 表示  $p < 0.05$ , \*\* 表示  $p < 0.01$ 。

## 2.6 不同耕作措施土壤肥力综合评价

土壤肥力综合评价值不仅可以用数字来直观表达复杂多变的土壤肥力,而且其评价结果还能够较好地反映研究区土壤养分水平的基本状况。本研究中选择 8 项土壤养分指标,将其代入前文所述公式(1)~(5)计算 4 种不同的耕作措施下枸杞地的土壤肥力综合指数。计算结果见表 7。

由表 7 可知,不同耕作措施下土壤肥力存在一定的差异,土壤各属性分肥力指数平均值表现为红枸杞沟垄覆膜样地最高,达到了 1.642,而对照处理红枸杞平地露地最

低,只有 1.178。4 种耕作措施综合肥力指数表现为:沟垄覆膜>平作覆膜>沟垄露地>平作露地。得出一般性规律:各项养分指标越高,综合评价得分值高,土壤环境越优。平作覆膜与平作露地相比土壤综合肥力指数较高,表明覆膜措施相比于不覆膜对土壤肥力有提高作用;沟垄露地与平作露地相比土壤综合肥力指数也有所提高,表明沟垄种植相比于平地种植对土壤肥力有提高作用。平作覆膜>沟垄露地>平作露地,说明覆膜措施对土壤肥力的提升作用优于沟垄措施,因此沟垄措施与覆膜措施一起使用,即垄膜处理对土壤肥力的提升作用最大。

表 7 枸杞种植区土壤肥力指数

样地	分肥力指数								$P_{i\text{ avg}}$	$P_{i\text{ min}}$	综合肥力 指数 $P_s$
	AN	AP	AK	OM	TN	TP	TK	pH 值			
HPL	0.297	1.283	2.691	0.468	0.287	1.020	2.085	1.295	1.178	0.287	0.750
HPM	0.462	1.058	2.060	0.784	0.540	1.245	2.002	1.893	1.256	0.462	0.828
HLL	0.387	1.356	1.964	0.499	0.399	1.260	1.826	2.070	1.220	0.387	0.792
HLM	0.948	1.234	3.000	0.814	0.569	1.895	2.685	1.994	1.642	0.569	1.075

注:  $P_{i\text{ avg}}$  为土壤各属性分肥力指数的平均值;  $P_{i\text{ min}}$  为各分肥力指数的最小值。

### 3 讨论

#### 3.1 不同耕作措施土壤机械组成分析与评价

研究区土壤的机械组成均以砂粒为主,由此可见该地区灰棕漠土是一种粗颗粒土壤,保水蓄肥能力不足,与普通耕地土壤理化性质存在很大的差异。首先,这与成土母质以及研究区所处的气候类型有关,这是差异形成的先导因素;其次,风蚀量巨大、几乎无水蚀的独特侵蚀方式使得质地较重的砂粒含量不断积累,这是差异形成的重要因素;而不同作物以及耕作方式的差异造就了研究区形成明显土壤机械组成差异的主要因素<sup>[20]</sup>。研究表明,枸杞地土壤长期在当地独特的气候条件下,在土壤机械组成改善功能上,采用沟垄覆膜种植能有效改善土壤含沙量高的现象。因此在结合成本因素的同时,有必要多采用沟垄覆膜的耕作措施,无论是保墒增温、减小风蚀,还是降低土壤含沙量方面都具有很好的效果。

#### 3.2 不同耕作措施土壤养分分析与评价

土壤酸碱性影响着土壤微生物的活性、矿物质及有机质的转化,并在土壤养分循环中扮演着重要角色<sup>[21]</sup>。研究区土壤 pH 值偏高,变异系数很小,导致土壤碱性程度变高,因此不利于土壤积累养分。

研究区有机质整体含量较低,沟垄措施能略微提升表层土壤有机质含量,而沟垄覆膜处理对有机质的提升可达 67.04%,究其原因:一方面,覆膜提高了土壤温度和水分含量,改善了微生物的生长环境,有助于微生物的生长和代谢,加速有机质的分解;另一方面,良好的沟垄覆膜生长环境会促进植物根系的生长,增加根系的分泌物,使得土壤有机质含量升高,并且覆膜一定程度上阻碍了土壤与空气间的气体交换,导致膜内二氧化碳浓度升高,不利于土壤的呼吸,促进农田碳的积累,而且覆膜处理会提高表层土壤的含水率,也会对土壤呼吸起到一定的抑制作用<sup>[22]</sup>。20—40 cm 土层有机质含量明显少于表层土壤,且不同处理间差异性只体现在覆膜与露地种植的差异上。崔志强等<sup>[23]</sup>也得出了相同的结果:覆膜处理能提升有机质含量,特别是表层土壤活性有机质含量。还有研究表明:土壤有机质含量与粉粒和黏粒的含量呈正相关关系,与砂粒呈负相关关系。究其原因,土壤细

颗粒对有机质的吸附作用是有机质积累的主要因素<sup>[24]</sup>,研究区土壤机械组成显示,4 种耕作措施枸杞地都呈现出粉粒、黏粒稀缺的状态,与结果一致。

研究区土壤全氮和速效氮属于缺乏等级。研究得出:无论是全氮还是速效氮,沟垄覆膜措施均可提高其含量,尤其是覆膜处理,提升效果明显。不同土层之间表现为:表层土壤含氮量均高于底层土壤。土壤氮素的流失主要有 3 条途径:硝酸盐的淋失、土壤侵蚀以及氨气和氧化亚氮等气体的排放<sup>[25]</sup>。首先,沟垄覆膜能够改变硝酸盐时空分布,明显提高表层土壤硝酸盐含量,在土壤表层出现汇集现象<sup>[26]</sup>;其次研究区的侵蚀类型主要为风蚀,沟垄覆膜处理能很大程度减弱风蚀带来的危害;最后覆膜措施改变了土壤中氨的挥发过程,显著降低了氨的挥发,有研究指出覆膜使土壤反硝化细菌造成的铵态氮挥发损失减少 90%左右,有效提高了氮的利用率<sup>[27]</sup>。因此无论是防治侵蚀还是提高土壤氮素利用率,沟垄覆膜都是首选措施。

研究区钾素含量正常,相比于氮素和磷素,沟垄覆膜对其含量的提升效果并非很大。磷素作为土壤养分的重要影响因素,其在研究区的含量呈现出一定的差异。速效磷表现出沟垄措施优于平地,而覆膜措施则会降低速效磷的含量。全磷的变化趋势则等同于氮素,均表现出沟垄覆膜处理最优。究其原因,覆膜提高了微生物活性,加速有机磷的矿化,枸杞产量升高需要消耗更多的速效磷,导致覆膜处理土壤的速效磷水平低于露地种植。杜社妮等<sup>[28]</sup>研究发现:地膜覆盖后土壤速效磷略有下降,但全磷增加 12.5%,原因是覆膜能够减少土壤侵蚀。

#### 3.3 不同耕作措施土壤肥力综合评价

土壤肥力综合评价能够更加科学系统地得出 4 种不同耕作措施下土壤肥力水平的高低。目前,虽然我国还未提供明确的土壤肥力划分的标准方法,但是本试验中所使用的改进的内梅罗综合指数法可以科学地表现出不同耕作措施下土壤肥力的综合评价值。结果显示:沟垄覆膜 > 平作覆膜 > 沟垄露地 > 平作露地。因此,枸杞园在今后的生产中应在考虑防沙治沙效率和经济效益的同时,合理配肥施肥,在耕作措施选择上应该多采用沟垄覆膜的种植方法,当地风蚀严

重且营养元素流失严重,沟垄覆膜措施非常适合当地实际情况,应予以推广。

## 4 结论与建议

青海主要枸杞产区土壤养分含量整体较低,属于“中等—极缺”水平。除红枸杞沟垄覆膜措施相对较好之外,其余措施无论是土壤颗粒组成还是土壤养分状况都不太理想。沟垄覆膜措施与传统耕作措施相比,不仅具有改善土壤机械组成的作用,同时可以增加土壤的各养分含量,从而提高土壤的综合肥力水平。试验地沟垄覆膜处理相比于对照处理土壤综合肥力指数提高了 43.33%。因此在年降水量不足 300 mm 的干旱区,沟垄覆膜耕作措施应该在干旱区大力推广。(1) 作物和土壤是相互选择性适应的关系,因此在改善土壤理化性质方面,根据土壤养分的丰缺、植物的生长需求情况来进行选择。依据研究结果,该地区应多施氮肥和磷肥,同时鉴于研究区有机质含量整体较低,可以考虑施肥中适当配比有机肥。(2) 从耕作模式方面来讲,沟垄覆膜耕作模式远远优于其他耕作模式。而当前枸杞园大多采用平地裸地耕作模式,因此枸杞园应采用沟垄种植、覆盖地膜的耕作方式,其在当地的效果无论是防治侵蚀还是提高土壤的理化性质方面都远远优于不覆膜平作。

### 参考文献:

- [1] 丛日环,张智,郑磊,等.基于 GIS 的长江中游油菜种植区土壤养分及 pH 状况[J].土壤学报,2016,53(5):1213-1224.
- [2] 孙波,潘贤章,王德建,等.我国不同区域农田养分平衡对土壤肥力时空演变的影响[J].地球科学进展,2008,23(11):1201-1208.
- [3] 胥生荣,张恩和,马瑞丽,等.干旱胁迫及复水对耐旱枸杞水力学特性的影响[J].中国生态农业学报,2017,25(8):1190-1197.
- [4] 王淑兰,王浩,李娟,等.不同耕作方式下长期秸秆还田对旱作春玉米田土壤碳、氮、水含量及产量的影响[J].应用生态学报,2016,27(5):1530-1540.
- [5] 冯福学,黄高宝,于爱忠,等.不同保护性耕作措施对武威绿洲灌区冬小麦水分利用的影响[J].应用生态学报,2009,20(5):1060-1065.
- [6] 成臣,汪建军,程慧煌,等.秸秆还田与耕作方式对双季稻产量及土壤肥力质量的影响[J].土壤学报,2018,55(1):247-257.
- [7] 严应存,校瑞香,肖建设,等.青海省巴音河流域 LUCC 遥感调查及驱动分析[J].中国沙漠,2012,32(1):276-283.
- [8] 邱权,李吉跃,王军辉,等.柴达木盆地不同居群白刺土壤养分空间变异性[J].西北林学院学报,2014,29(3):15-20,52.
- [9] 陈辉.柴达木盆地东部土壤有机质分布规律[C]//2005 青藏高原环境与变化研讨会论文摘要汇编,2005.
- [10] 张贵云,吕贝贝,张丽萍,等.黄土高原旱地麦田 26 年免耕覆盖对土壤肥力及原核微生物群落多样性的影响[J].中国生态农业学报,2019,27(3):358-368.
- [11] 阚文杰,吴启堂.一个定量综合评价土壤肥力的方法初探[J].土壤通报,1994,25(6):245-247.
- [12] 包耀贤,明岗,吕粉桃,等.长期施肥下土壤肥力变化的评价方法[J].中国农业科学,2012,45(20):4197-4204.
- [13] 全国土壤普查办公室.中国土壤[M].北京:中国农业出版社,1998.
- [14] 罗红,普布顿珠,朱雪林,等.西藏人工造林作业区土壤肥力评价[J].应用生态学报,2017,28(5):1507-1514.
- [15] 信忠保,余新晓,张满良,等.黄土高原丘陵沟壑区不同土地利用的土壤养分特征[J].干旱区研究,2012,29(3):379-384.
- [16] 王东,卢健,秦舒浩,等.沟垄覆膜连作种植对马铃薯产量及土壤理化性质的影响[J].西北农业学报,2015,24(6):62-66.
- [17] 张飞,陈云明,王耀凤,等.黄土丘陵半干旱区柠条林对土壤物理性质及有机质的影响[J].水土保持研究,2010,17(3):105-109.
- [18] 武小钢,郭晋平,杨秀云,等.芦芽山典型植被土壤有机碳剖面分布特征及碳储量[J].生态学报,2011,31(11):3009-3019.
- [19] 郑子成,李廷轩,何淑勤,等.保护地土壤生态问题及其防治措施的研究[J].水土保持研究,2006,13(1):18-20,53.
- [20] Montero E. Rényi dimensions analysis of soil particle-size distributions[J]. Ecological Modelling, 2005,182(3/4):305-315.
- [21] 陈碧华,孙丽,李新峥,等.新乡市大棚菜田土壤养分及盐分的演变[J].农业工程学报,2013,29(15):83-90.
- [22] 高翔,龚道枝,顾峰雪,等.覆膜抑制土壤呼吸提高旱作春玉米产量[J].农业工程学报,2014,30(6):62-70.
- [23] 崔志强,汪景宽,李双异,等.长期地膜覆盖与不同施肥处理对棕壤活性有机碳的影响[J].安徽农业科学,2008,36(19):8171-8173.
- [24] 苏志珠,刘蓉,梁爱民,等.晋西北沙化土地土壤机械组成与有机质的初步研究[J].水土保持研究,2018,25(6):61-67.
- [25] 高忠霞,杨学云,周建斌,等.小麦—玉米轮作期间不同施肥处理氮素的淋溶形态及数量[J].农业环境科学学报,2010,29(8):1624-1632.
- [26] 王秀康,李占斌,邢英蓓.覆膜和施肥对玉米产量和土壤温度、硝态氮分布的影响[J].植物营养与肥料学报,2015,21(4):884-897.
- [27] 上官宇先,师日鹏,李娜,等.垄作覆膜条件下田间氨挥发及影响因素[J].环境科学,2012,33(6):1987-1993.
- [28] 杜社妮,白岗栓.玉米地膜覆盖的土壤环境效应[J].干旱地区农业研究,2007,25(5):56-59.