

黄土丘陵沟壑区旱作农业轮作模式综合评价

王平¹, 陈娟², 王国宇¹, 胡建萍¹, 李世煜³, 魏珑¹

(1. 兰州市农业科技研究推广中心, 甘肃 兰州 730000; 2. 甘肃省农业科学院, 甘肃 兰州 730070; 3. 甘肃省永登县种子管理站, 甘肃 永登 730300)

摘要: [目的] 以不同轮作模式为研究对象, 研究不同轮作模式对土壤容重、土壤含水量及作物产量的影响, 优化兰州市旱地区作物种植制度。[方法] 以马铃薯(P)、玉米(M)、蚕豆(B)为供试作物, 开展 9 种年际间轮作模式试验, 分别为: (P-P-P), (M-M-M), (B-B-B), (P-M-P), (P-B-P), (M-P-M), (M-B-P), (B-B-P), (M-M-B)。测定不同轮作模式下, 土壤容重、土壤水分及作物产量, 并进行经济效益分析。[结果] 马铃薯轮作模式(P-M-P, P-B-P, M-P-M, M-B-P 及 B-B-P)能显著减少 0—40 cm 土层的土壤容重, 对 40—60 cm 土层的土壤容重没有显著影响; 不同作物轮作下土壤含水量、耗水量影响大小相似: 玉米>马铃薯>蚕豆, 水分利用效率受作物种类影响大小为: 马铃薯>玉米>蚕豆, 其中轮作模式以 M-M-M 下土壤含水量最低、耗水量最大, B-B-P 下水分利用效率最高; 同种作物轮作产量均高于连作产量, 如 2016 年 P-M-P, P-B-P, M-B-P, B-B-P 较连作 P-P-P 产量分别提高了 40.37%~79.28%, M-M-B 蚕豆轮作较 B-B-B 连作增产 23.56%, M-P-M 轮作较 M-M-M 连作玉米产量提高 10.51%; 不同轮作模式经济收益大小与连作相比, 轮作更利于产量与经济收益的提高。[结论] 综合土壤容重、水分利用效率、产量及经济效益, P-B-P 与 P-M-P 轮作模式, 能改善土壤环境、提高产量与经济效益可作为主推轮作模式。M-B-P 轮作模式经济效益次之, 但水分利用效益较高, 能作为协调水分利用的种植模式。

关键词: 旱作农业; 轮作模式; 产量; 水分利用效率

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2018)01-0229-06

中图分类号: S344.13

文献参数: 王平, 陈娟, 王国宇, 等. 黄土丘陵沟壑区旱作农业轮作模式综合评价[J]. 水土保持通报, 2018, 38(1): 229-234. DOI: 10.13961/j.cnki.stbctb.2018.01.040. Wang Ping, Chen Juan, Wang Guoyu, et al. Comprehensive evaluation of dryland farming rotation systems in loess hilly and gully region[J]. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2018, 38(1): 229-234.

Comprehensive Evaluation of Dryland Farming Rotation Systems in Loess Hilly and Gully Region

WANG Ping¹, CHEN Juan², WANG Guoyu¹, HU Jianping¹, LI Shiyu³, WEI Long¹

(1. Lanzhou Agro-technical Research and Popularization Center, Lanzhou, Gansu

730010, China; 2. Gansu Academy of Agricultural Sciences, Lanzhou, Gansu 730070, China;

3. Seed Management Department of Yongdeng County of Gansu Province, Yongdeng, Gansu 730300, China)

Abstract: [Objective] The objective of the study is to analyze the impact of different cropping systems on crop yield, soil bulk density and soil water content in Lanzhou City and to find the optimum cropping system in this area. [Methods] The potato(P), maize(M) and faba bean(B) was selected as test crops under 9 annual rotation patterns (P-P-P, M-M-M, B-B-B, P-B-P, M-P-M, M-B-P, B-B-P, M-M-B). The soil bulk density, soil moisture, crop yield and economic benefits under different rotation patterns were analyzed. [Results] P-M-P, P-B-P, M-P-M, M-B-P and B-B-P could significantly reduce soil bulk density in 0—40 cm soil layers, but had no significant effect on soil bulk density of 40—60 cm soil layers. The influence of rotation systems on soil water content was similar to that of water consumption, the order of the effects of crop types on soil water content, water consumption were maize>potato>faba bean, and WUE were potato>maize>faba

收稿日期: 2017-07-10

修回日期: 2017-07-13

资助项目: 兰州市科技局计划项目“旱作农业轮耕技术及配套耕作技术的研究与开发”(2015-3-60)

第一作者: 王平(1979—), 男(汉族), 甘肃省定西市人, 硕士研究生, 主要从事作物栽培与耕作工作。E-mail: wangping0931@163.com.

通讯作者: 李世煜(1963—), 男(汉族), 甘肃省永登县人, 本科, 高级农艺师, 主要从事农作物种子品种引进、管理工作。E-mail: 1937348733@qq.com.

bean, respectively. Under M-M-M treatment, the soil water content was the lowest, and water consumption was the highest, WUE of B-B-P treatment was the highest. The yield of rotation cropping was higher than that of continuous cropping. In 2016, compared with continuous cropping P-P-P treatment, the crop yield under P-M-P, P-B-P, M-B-P and B-B-P treatments increased by 40.37%~79.28%. Compared with continuous cropping B-B-B treatment, the crop yield under M-M-B treatment increased by 23.56%; Compared with continuous cropping M-M-M treatment, M-P-M treatment increased by 10.51%. Compared with continuous cropping, rotation cropping would more increase in crop yield and economic benefits. [Conclusion] With respect to soil bulk density, WUE, crop yield and economic benefits, P-B-P and P-M-P were superior to the other seven rotation patterns, which could improve soil environment, and increase yield and economic benefits, and should be encouraged in Lanzhou City. The economic benefits under M-B-P was lower than P-B-P and P-M-P treatment, M-B-P had higher WUE, which could improve WUE.

Keywords: dryland farming; rotation pattern; crop yield; water use efficiency

同一作物长期连续种植会造成土壤养分异常或过度消耗,使得病原微生物迅速繁衍,化感物质积累,进而造成病害多发与作物产量降低^[1]。而轮作是将养地与用地相结合的一种生物学措施,在保证作物产量的同时可以提高地力、是改善土壤质量与农业生态环境的重要农业措施^[2]。20世纪初,由于农作物采用连作制以及不合理利用土地资源与过度的开垦荒地使得水土流失严重,生态环境遭到破坏作物产量下降,之后人们改用土地休闲等措施均无法保证作物稳产。80年代以后,中国建立起了轮作制度,不仅增加了土壤有机质、改善了土壤结构,还调节了土壤水、肥、热、气的有序利用,被认为是中国传统农业的精华^[3]。近些年,随着肥料的广泛使用,农民为追求产量与经济效益的最大化,对于经济收益较高的作物存在长期连作现象,通过增加使用化肥与农药来做到稳产增产效果,给土壤与生态环境带来了巨大的压力。同时,病虫害发生率显著提高、生产成本增加、面源污染加剧,而产量并没有提高。研究发现旱作区实行粮草或者粮豆轮作可提高土壤剖面供氮能力^[4],增加土壤速效养分及酶活性^[5]。蔡艳等^[6]研究发现与小麦连作相比,轮作下小麦籽粒增产 1.47%~29.66%,轮作后,土壤全氮、碱解氮含量提高范围达 9.66%~21.66%。万年鑫等^[7]研究发现薯玉轮作能解决马铃薯连作障碍问题,并能够较快提高土壤酶活性,加速根区土壤生理生化反应增加速效养分。兰州市旱作区主要种植的作物为玉米、马铃薯及豆类等小杂粮。探索如何有效地降低作物连作障碍,提高主栽作物的产量与经济效益对于发展当地农业产业化发展已刻不容缓。

本研究拟采用大田种植,以当地主栽作物马铃薯、玉米、蚕豆进行轮作模式研究,对土壤理化形状、土壤水分、产量等指标进行分析,以期筛选出在保证较高经济效益的基础上获得高效利用水资源的轮作

组合模式,从而达到优化作物布局来提高区域作物水分利用效率的目的。

1 试验区概况

试验在甘肃省兰州市榆中县清水驿乡孟家村进行,该地区海拔 1 998 m,无霜期 100~140 d,年日照时数 2 500 h,年均气温 6.2 °C,年平均降水量在 200~330 mm 之间,其中 7—9 月降水量占年降水量的 56%。试区为典型的半干旱黄土丘陵区,供试土壤为黄绵土。2014—2016 年的降雨情况如图 1 所示。

2 研究方法

2.1 试验设计

为了减少轮作前茬作物对轮作的影响,2013 年轮作前的土地为撂荒地。轮作试验在 2014—2016 年进行,试验分为 9 个处理,分别为:马铃薯连作(P-P-P)、玉米连作(M-M-M)、蚕豆连作(B-B-B)、马铃薯/玉米/马铃薯轮作(P-M-P)、马铃薯/蚕豆/马铃薯轮作(P-B-P)、玉米/马铃薯轮作/玉米(M-P-M)、玉米/蚕豆/马铃薯轮作(M-B-P)、蚕豆/蚕豆/马铃薯轮作(B-B-P)、玉米/玉米/蚕豆轮作(M-M-B)。马铃薯选用陇薯 7 号,种植采用黑色半膜垄上种植方式,垄高 25 cm,膜行距 30 cm,膜宽 80 cm,垄两侧点种马铃薯,株行距 55 cm,株距 40 cm,保苗 37 500 株/hm²;玉米采用全膜双垄沟播种植方式,大垄宽 70 cm,高 10 cm,小垄宽 40 cm,高 15 cm,品种选用金穗 4 号,保苗 52 500 株/hm²;蚕豆选用临蚕 6 号,采用全膜覆土穴播种植,保苗 67 500 株/hm²。

2.2 测定项目与方法

2.2.1 土壤容重与土壤含水量 在 2013 年 11 月 10 日试验处理前及 2016 年 10 月马铃薯、玉米收获后采集土样,每个小区布置 3 个采样点,土壤容重按 0—20,20—40 和 40—60 cm 土层均采用环刀取样。

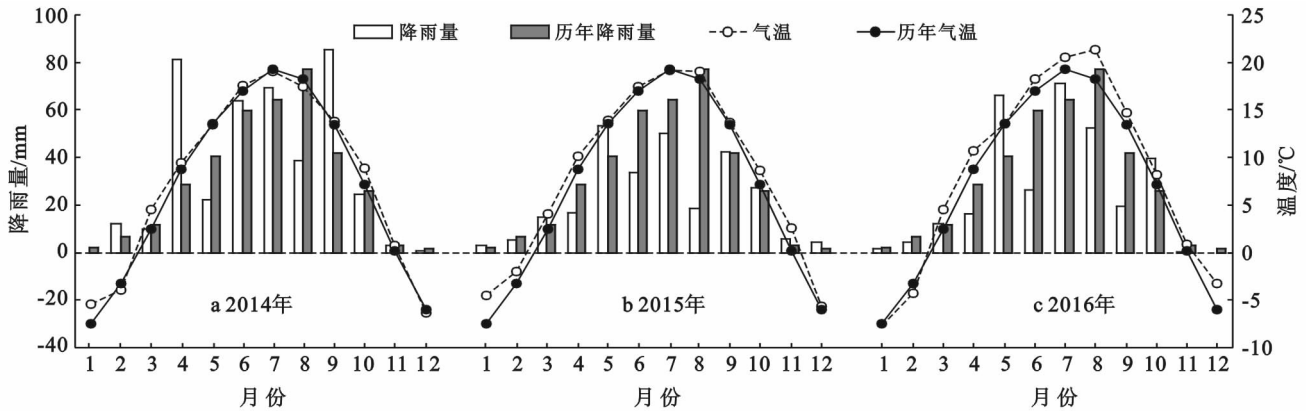


图 1 2014—2016 年的试验区降雨量及气温

在 2016 年 10 月,土壤含水量测定采用对角线取 3 个点,土钻取 0—100 cm 土层采样,带入实验室通过烘干法测定土壤水分。

2.2.2 作物耗水量与水分利用效率 作物耗水量:

$$ET_a = P + U - R - F - \Delta W \quad (1)$$

式中: ET_a ——作物耗水量(mm); P ——作物生育期有效降水量(mm); U ——地下水补给量(mm); R ——径流量(mm); F ——深层渗漏量(mm); ΔW ——计算时段内土壤贮水量的变化(mm)。其中土壤贮水量及作物耗水量均以 1 m 土层含水量计算;因试验区地下水位较低,多在几十米以下,因此上式可简化为:

$$ET_a = P - \Delta W \quad (2)$$

籽粒产量水分利用效率为:

$$WUE = Y / E_T \quad (3)$$

式中: Y ——籽粒产量(kg/hm²); E_T ——作物一生的耗水量(mm)^[8]。

2.2.3 马铃薯、玉米、蚕豆产量 在每年马铃薯、玉米、蚕豆收获时,马铃薯、玉米取 20 m² 的样方,蚕豆分别取 9 m² 的样方,重复 3 次,测定实际产量。随机取 15 株有代表性的植株,3 次重复,进行室内考种,

用于测定玉米的理论产量和产量构成。

3 试验结果

3.1 轮作模式对第 3 a 作物土壤容重的影响

与 2013 年轮作处理前相比,经过 3 a 作物轮作后不同处理 40—60 cm 土层土壤容重各土层上未发生显著变化(表 1)。但在 0—20 cm 土层,土壤容重与 3 a 前土壤容重相比,表层轮作方式土壤容重出现了显著变化,与处理前相比变化幅度为 -3.85%~6.15%,不同轮作以第 3 a 种植马铃薯的表层土壤容重最小,以 P-P-P 轮作下的土壤容重最小,其次为双垄玉米种植,可能是种植马铃薯与玉米需要起垄,扰动了土壤表层土壤,轮作有利于表层土壤的降低。在 20—40 cm 土层,土壤容重的区间为 1.30~1.46 g/cm³,不同轮作方式下的土壤容重具有较大变化,玉米、蚕豆连作下的土壤容重显著增大,浅根作物蚕豆轮作种植下的 B-B-B, M-B-P, M-M-B 土壤容重在 1.40 g/cm³。在 40—60 cm 土层,轮作方式对下层土壤容重没有显著影响,主要影响在 0—40 cm。轮作方式有利于土壤容重的改变,特别为不同根系深度与种植方式的作物种植更有利于土壤环境的改善。

表 1 研究区第 3 a 不同轮作方式下的土壤容重

土壤深度/ cm	处理前	轮作方式								
		P-P-P	M-M-M	B-B-B	P-M-P	P-B-P	M-P-M	M-B-P	B-B-P	M-M-B
0—20	1.31 ^{ab}	1.25 ^b	1.33 ^{ab}	1.38 ^a	1.25 ^b	1.26 ^b	1.27 ^b	1.28 ^{ab}	1.30 ^{ab}	1.35 ^a
20—40	1.35 ^b	1.30 ^b	1.41 ^{ab}	1.46 ^a	1.31 ^b	1.34 ^b	1.36 ^b	1.41 ^{ab}	1.42 ^{ab}	1.44 ^{ab}
40—60	1.26 ^a	1.25 ^a	1.31 ^a	1.31 ^a	1.25 ^a	1.27 ^a	1.28 ^a	1.27 ^a	1.28 ^a	1.30 ^a

注:P 为马铃薯,M 为玉米,B 为蚕豆;不同小写字母表示处理间差异显著($p < 0.05$);多重比较采用新复极差法。下同。

3.2 轮作方式下第 3 a 土壤含水量的变化

从图 2 可以看出,第 3 a 轮作下马铃薯、玉米、蚕豆收获后 0—100 cm 土层的土壤含水量变化,其中以玉米连作下(M-M-M)的土壤含水量最低,其次为 M-P-M 玉米轮作下的土壤含水量。玉米对水分的吸

收利用周期长,叶面蒸发量大,种植玉米土壤含水量较低。种植蚕豆的 B-B-B, M-M-B 在 0—40 cm 土壤含水量较高,40—100 cm 土层, M-M-B 轮作下的土壤含水量开始下降。前茬作物水分吸收小的马铃薯、蚕豆在第 3 a P-B-P 轮作下的土壤含水量在 0—100 cm

土壤含水量均表现出较高的值,可能是由于前茬作物耗水量大的作物会影响下茬作物土壤含水量。合理的轮作不仅能够条件调节土壤的物理结构同时还能够影响作物对水分的吸收利用。

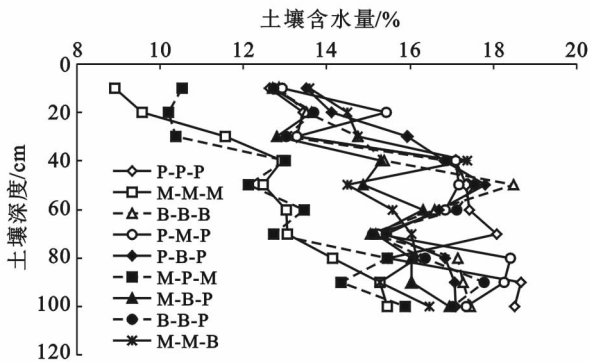


图 2 不同轮作模式下土壤含水量变化

3.3 轮作方式对第 3 a 作物产量及耗水量、水分利用效率的影响

由表 2 看出,不同年份的 3 种连作作物的产量除

表 2 研究区 3 a 不同轮作方式下的作物产量

年份	P-P-P	M-M-M	B-B-B	P-M-P	P-B-P	M-P-M	M-B-P	B-B-P	M-M-B
2014	27 127.5	7 551.0	1 933.5	27 159.0	27 646.5	7 629.0	7 483.5	2 031.0	7 659.0
2015	20 051.8	5 640.0	1 682.7	5 773.2	1 893.2	24 713.2	1 891.4	1 813.6	5 566.8
2016	17 081.3	5 643.2	1 420.9	23 978.3	27 481.6	6 235.6	28 924.7	30 624.4	1 755.6

从图 3 可以看出,随着轮作年限的增加,第 3 a 不同处理的作物耗水量变化规律不同:其中 B-B-B 轮作处理的耗水量最低,玉米轮作 M-P-M 的耗水量最大 330 mm;M-M-M 玉米连作下的玉米耗水量为 291.55 mm,M-P-M 轮作下的玉米耗水量提高了 13.40%;P-P-P 马铃薯连作下的耗水量为 270.62 mm,P-M-P,P-B-P,M-B-P,B-B-P 轮作下的马铃薯耗水量分别为 282.32,292.20,308.11,290.6 mm,通过 3 a 轮作下的马铃薯耗水量较连作的耗水量增大;M-M-B 轮作下的蚕豆耗水量与 B-B-B 连作下的耗水量相比同样具有增加耗水量的作用。P-P-P,M-M-M,B-B-B 连作下的耗水量比较发现玉米耗水量大于马铃薯大于蚕豆。这主要是因为玉米对水分的利用周期较长,但玉米具有较高的蒸散量,对田间水分的需求较大,从而生育期过后会导致土壤水分迅速下降。连作下作物水分利用效率的大小变化表现为:马铃薯>玉米>蚕豆,其中马铃薯轮作的水分利用效率均大于 70 kg/(hm²·mm),表明了马铃薯的水分利用效率高。连作水分利用效率高的作物对应其轮作下的水分利用效率也高,如 M-M-B>B-B-B。通过图 3 分析发现马

铃薯耗水量小,且水分利用效率较高,相比玉米更有利于土壤水分的恢复。蚕豆耗水量最小,与玉米相比作物根系不够发达,水分吸收少,产量低,水分利用效率较低。

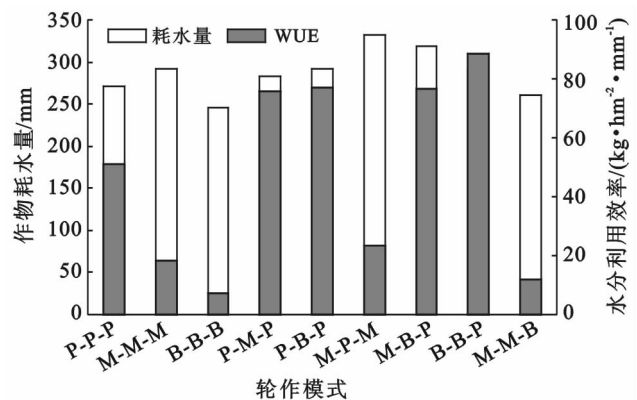


图 3 不同轮作模式下的作物耗水量与水分利用效率

由于 2014,2015,2016 年的降雨量分别为 410.4,275.3,309.9 mm,其中 2016 年作物的产量均降低,可能受降雨量的影响较大。而 2016 年,除连作作物产量降低之外,其他作物的产量均增加。3 a 连作

P-P-P, M-M-M, B-B-B 处理下 2014—2016 年的下降幅度分别为 58.81%, 33.80%, 36.08%, 以玉米的下降幅度最低, 稳产性高。从不同作物来看, 马铃薯的产量较高, 而蚕豆的产量最低, 玉米的耗水量较高, 而蚕豆的耗水量最低, 马铃薯和玉米的水分利用效率较高, 而蚕豆的水分利用效率较低, 因此综合来看, 在降雨量较少的年份, 相对于连作, 轮作马铃薯的产量和水分利用效率较高, 而种植蚕豆虽耗水量较少, 但产量和水分利用效率较低。

3.4 不同轮作模式经济效益比较

2014—2016 年不同作物轮作模式下的投入产出情况如表 3 所示。P-P-P, M-M-M, B-B-B 连作下的投入随着劳动成本, 肥料价格等因素呈逐渐增加趋势, 而产量呈逐年递减, 净收益逐年下降, 其中以马铃薯的净收益最高, 其次为玉米、蚕豆。2016 年马铃薯轮作下的作物经济净收益较 3 a 连作每 1 hm² 能够提高 3 624~9 282 元, 玉米轮作较 3 a 较连作提高 1 008

元, 蚕豆轮作较 3 a 连作提高 1 740 元, 轮作栽培能够明显的提高农业生产的净收益, 轮作马铃薯的提高幅度更加明显。通过 3 a 的轮作模式比较发现, 轮作模式经济收益大小依次为: P-B-P > P-M-P > P-P-P > M-P-M > M-B-P > B-B-P > M-M-M > M-M-B > B-B-B。3 a 累计净收益 P-B-P 轮作模式最高达到 27 750 元/hm², 其次是 P-M-P 轮作模式 27 264 元/hm²。相比于单独连作带来的经济收益逐年递减, 轮作更加有利于产量的增加与经济收益的提高, P-P-P 存在种植连作障碍, 影响产量与土壤环境的改善不利于长期种植, M-P-M 轮作模式经济效益一般, 水分利用率低。

通过轮作模式在 3 a 经济收益比较与对土壤环境与水分利用效率的影响分析, 作为主栽马铃薯、玉米、豆类作物区域的兰州市山旱区 P-B-P 与 P-M-P 两种轮作模式可以作为旱作农业的主要模式进行示范推广。

表 3 研究区轮作模式下作物 2014—2016 年的经济效益

元/hm²

轮作模式	2014 年				2015 年				2016 年				3 a 净收益	排名
	支出		产量收益	净收益	支出		产量收益	净收益	支出		产量收益	净收益		
	农药肥料	其他			农药肥料	其他			农药肥料	其他				
P-P-P	2 800	5 300	21 702	13 602	3 080	5 300	16 844	8 464	3 388	5 300	13 380	4 692	26 758	3
M-M-M	2 800	4 300	16 612	9 512	3 080	4 300	12 408	5 028	3 388	4 300	9 593	1 905	16 445	7
B-B-B	2 600	4 900	9 281	1 781	2 860	4 900	8 750	990	3 146	4 900	7 389	-657	2 114	9
P-M-P	2 800	5 300	21 727	13 627	3 080	4 300	12 701	5 321	3 388	5 300	17 004	8 316	27 264	2
P-B-P	2 800	5 300	22 117	14 017	2 860	4 900	9 845	2 085	3 388	5 300	20 336	11 648	27 750	1
M-P-M	2 800	4 300	16 784	9 684	3 080	5 300	20 759	12 379	3 388	4 300	10 601	2 913	24 976	4
M-B-P	2 800	4 300	16 464	9 364	2 860	4 900	9 835	2 075	3 388	5 300	21 404	12 716	24 155	5
B-B-P	2 800	4 900	9 749	2 049	2 860	4 900	9 431	1 671	3 388	5 300	22 662	13 974	17 694	6
M-M-B	2 800	4 300	16 850	9 750	3 080	4 300	12 247	4 867	3 146	4 900	9 127	1 083	15 700	8

注:农家肥 300 元/t, 氮肥 3 500 元/t, 150 kg/hm², 其他肥料 800 元/hm², 肥料价格 2015—2017 年按照 10% 涨价。其他支出: 马铃薯种子 2 600 元/hm², 玉米种子 600 元/hm², 蚕豆种子 1 200 元/hm², 劳力每天 100 元。马铃薯机械种植费用 800 元/hm²。2014 年马铃薯价格 0.8 元/kg, 玉米价格 2.2 元/kg, 蚕豆价格 4.8 元/kg; 2015 年马铃薯价格 0.84 元/kg, 玉米价格 2.2 元/kg, 蚕豆价格 5.2 元/kg; 2016 年马铃薯价格 0.74 元/kg, 玉米价格 1.7 元/kg, 蚕豆价格 5.2 元/kg。地膜 13 元/kg, 75 kg/hm², 地膜 975 元/hm²。

4 讨论与结论

干旱缺水是影响旱作区农业生产与发展的瓶颈, 施行合理的轮作模式能改善土壤环境促进作物的生长与产量的提高, 是旱作农业研究的重要课题。作物轮作倒茬技术, 相对于单一的连作种植方式具有明显的优势, 它利用的是作物对水分与养分的需求差异, 进行合理配置, 可以有效地改善土壤物理环境, 使得土壤水、热、气、养得到充分协调和利用, 增加土壤有机质、速效氮、磷及土壤酶活性, 降低连作障碍, 对促进作物生长起到关键的作用^[9]。宋丽萍等^[10]研究干

旱区苜蓿—作物轮作时发现轮作能够降低土壤容重, 影响 0—30 cm 土壤团聚体, 形成良好的土壤结构, 改善土壤的渗透性能。通过种植方式的调节也能达到较小土壤容重的作用。本试验结果表明, 玉米、蚕豆连续的连作使得土壤容重增加, 轮作处理有利于土壤容重的降低, P-M-P, M-P-M 轮作模式下的土壤容重能够较小土壤容重, P-P-P 处理下的轮作模式土壤容重最低, 说明轮作能够减小土壤容重, 同时不同的种植方式对于土壤容重的影响也很重要。土壤容重主要通过孔隙度大小及分布来调节水分的入渗, 土壤容重增加, 土壤变得紧实, 土壤孔隙减小, 蓄水保水力下

降^[11-12]。其中,大豆轮作较玉米轮作更加能促进团聚体形成,改善土壤结构,增加土壤肥力对于养分积累有很大的帮助^[13]。因此,土壤环境的改善有利于作物的高产、稳产与持续增产^[14]。作物轮作可有效减少农田病虫害、杂草和有毒物质的危害,减少农药使用,降低投入成本,增加收入^[15]。

玉米连年种植会大量消耗土壤水分,对土壤水分年际平衡不利;而马铃薯连年种植引发连作障碍,导致马铃薯病害高发,产量受损^[7]。本试验表明玉米较马铃薯与蚕豆对水分需求量大,如果降雨量小,根系吸水时间长消耗土壤水分,再进行长期的连作容易形成土壤干层,如果土壤长时期内难以恢复,会影响与植物之间水分的循环利用,同时会影响下茬作物对水分的吸收利用,制约作物生长不能保证产量的增加。马铃薯与蚕豆耗水量较小,通过玉米与马铃薯、蚕豆的轮作可以协调土壤水分的供应。其中,轮作模式 M-M-M 玉米长期连作的土壤含水量在 0—100 cm 均较低,玉米与马铃薯或者蚕豆轮作后,土壤含水量能够得到一定的恢复。作物轮作的多样化能有效缓解干旱状况,减小地表径流和氮流失。土壤水分恢复层会随着轮作时间的增加而不断向下延伸,当前茬作物水分的利用较小时土壤水分会产生叠加效应,有利于当季的作物水分的吸收^[16]。因此,耗水量大的作物要与耗水量小的作物进行轮作来调节水分的合理分配,这样有利于水分利用效率的提高。研究表明轮作的作物产量、水分利用效率均比连作农田高,可使后茬作物增产 43.2%~47.3%,籽粒水分利用效率提高 36.1%~47.5%,连续 2 a 连作农田都表现为增产增收效应^[17],这与本研究结论相似。

一个地区的农作物种植要与当地的养地相适应,李明等^[18]通过在山西半干旱区连续 3 a 进行不同轮作方式研究,对玉米、马铃薯、甘蓝、谷子、菜豆进行轮作比较,得出“玉米→马铃薯→菜豆”是比较好的轮作组合,且水分利用效率较高,当地适合粮菜组合模式。李承力等^[19]通过比较小麦、玉米、芝麻、油菜在丹江口不同轮作模式时发现“小麦→玉米”轮作为耕地适宜的环保型作物轮作模式。一个地区的轮作模式的选择要结合当地的种植作物及降雨量来制定,不同地区的轮作模式有所差别。本试验通过 3 a 轮作模式比较发现马铃薯→蚕豆→马铃薯与马铃薯→玉米→马铃薯轮作模式,能够改善土壤环境,提高产量,经济效益,玉米→蚕豆→马铃薯轮作模式能够提高水分利用效率,协调水分利用。周少平通过研究“玉米→马铃薯→蚕豆”轮作时发现该轮作模式能够提高土壤系统的水分和光能利用率^[20]。

生产效益与单产、价格、成本具有高度的相关性,同时与种植作物的种类、轮作方式,以及田间管理方式选择也均会影响农业的生产整体成本,决定农业种植的最终经济收益,以及影响以后种植的作物结构调整^[21]。受降水偏少限制,当地种植投入肥料及其他物质成本逐年增加,产量却低而不稳,另外 2016 年玉米单产价格下降到较大,造成了种植玉米的经济收益大幅下滑。在 2012 年 65% 的农民种植玉米施氮量 150 kg/hm² 以上,50% 以上的农民产量仍然很低(5 638 kg/hm²)。增加投入并不能有效地提高产量,使得当地农业生产迫切需要通过调整种植结构来提高经济效益。本试验选用成本较低马铃薯→蚕豆→马铃薯与马铃薯→玉米→马铃薯轮作模式既改善了土壤环境,提高了水分利用效率与产量,还增加了经济效益。

[参 考 文 献]

- [1] 王飞,李世贵,徐凤花,等. 连作障碍发生机制研究进展[J]. 中国土壤与肥料,2013(5):6-13.
- [2] 陈丹梅,段玉琪,杨宇虹,等. 轮作模式对植烟土壤酶活性及真菌群落的影响[J]. 生态学报,2016,36(8):2373-2381.
- [3] 陈桂权,曾雄生. 我国农业轮作休耕制度的建立:来自农业发展历史的经验和启示[J]. 地方财政研究,2016(7):87-94.
- [4] 刘晓宏,郝明德,樊军. 黄土高原旱区长期不同轮作施肥对土壤供氮能力的影响[J]. 干旱地区农业研究,2000,18(3):1-7.
- [5] 樊军,郝明德. 黄土高原旱地轮作与施肥长期定位试验研究 I:长期轮作与施肥对土壤酶活性的影响[J]. 植物营养与肥料学报,2003,9(1):9-13.
- [6] 蔡艳,郝明德. 轮作模式与周期对黄土高原旱地小麦产量、养分吸收和土壤肥力的影响[J]. 植物营养与肥料学报,2015,21(4):864-872.
- [7] 万年鑫,郑顺林,周少猛,等. 薯玉轮作对马铃薯根区土壤养分及酶活效应分析[J]. 浙江大学学报:农业与生命科学版,2016,42(1):74-80.
- [8] 李巧珍,郝卫平,龚道枝,等. 不同灌溉方式对苹果园土壤水分动态、耗水量和产量的影响[J]. 干旱地区农业研究,2007,25(2):128-133.
- [9] 吕毅,宋富海,李园园,等. 轮作不同作物对苹果园连作土壤环境及平邑甜茶幼苗生理指标的影响[J]. 中国农业科学,2014,47(14):2830-2839.
- [10] 宋丽萍,罗珠珠,李玲玲,等. 陇中黄土高原半干旱区苜蓿—作物轮作对土壤物理性质的影响[J]. 草业学报,2015,24(7):12-20.
- [11] 邵明安,吕殿青,付晓莉. 土壤持水特征测定中质量含水量、吸力和容重三者间定量关系:填装土壤[J]. 土壤学报,2007,44(6):1003-1009.

(4) 许多学者认为降雨量、最大 30 min 降雨强度和降雨历时对山区坡面产流产沙均存在显著的相关性,并且一些学者认为种植花生的坡耕地与降雨历时无显著相关关系^[9-11],而笔者的结论中,不同的降雨强度级别下,不同土地利用方式的产沙量与降雨特征指标之间的关系也是存在差异性,灌草地的拦截泥沙效应有限,对小型降雨有一定的抗冲能力,而较大暴雨则需要群落层次较多的乔木林,较高的林冠层能够截留一部分雨水,而较低的草木层和枯枝落叶层可降低降雨动能,减小降雨的激溅侵蚀。并且有些植被覆盖度较高的降雨也有一定的抗侵蚀能力,但对于坡度较大的坡耕地而言,仍然建议进行退耕还林措施。

[参 考 文 献]

- [1] 杨加林,李杰,李经纬等.抚仙湖一星云湖水生生物与水环境研究综述[J].云南地理环境研究,2012,24(2):1001-7852.
- [2] 金相灿,屠清瑛.湖泊富营养化调查规范[M].北京:中国环境科学出版社,1990,291-294.
- [3] 曹建华,蒋忠诚,杨德生,等.我国西南岩溶区土壤侵蚀强度分级标准研究[J].中国水土保持科学,2008,6(6):1-7.
- [4] 马良,左长清,邱国玉.赣北红壤坡地侵蚀性降雨的特征分析[J].水土保持通报,2010,30(1):74-79.
- [5] 纪启芳,张兴奇,张科利,等.贵州省喀斯特地区坡面产流产沙特征[J].水土保持研究,2012,19(4):1-5.
- [6] 高超,朱继业,朱建国,等.不同土地利用方式下的地表径流磷输出及其季节性分布特征[J].环境科学学报,2005,25(11):1543-1549.
- [7] 王占礼,邵明安,常庆瑞.黄土高原降雨因素对土壤侵蚀的影响[J].西北农业大学学报,1998,26(4):101-105.
- [8] 潘声旺,雷志华,杨丽娟,等.几种典型边坡植被的产流、产沙特征[J].生态环境学报,2013,22(7):1167-1172.
- [9] 林锦阔,李子君,许海超,等.降雨因子对沂蒙山区不同土地利用方式径流小区产流产沙的影响[J].水土保持通报,2016,36(5):7-12.
- [10] 郑海金,杨洁,左长清,等.红壤坡地侵蚀性降雨及降雨动能分析[J].水土保持研究,2009,16(3):30-33.
- [11] 焦菊英,王万忠,郝小品.黄土高原不同类型暴雨的降水侵蚀特征[J].干旱区资源与环境,1999,13(1):35-41.
- [12] 吕殿青,邵明安,潘云.容重变化与土壤水分特征的依赖关系研究[J].水土保持学报,2009,2(3):209-212.
- [13] 张凤华,王建军.不同轮作模式对土壤团聚体组成及有机碳分布的影响[J].干旱地区农业研究,2014,3(4):113-116,139.
- [14] 信乃检.中国北方旱区农业研究[M].北京:中国农业出版社,2002.
- [15] 李亚莉,杨永岗,张化生.轮作与连作对高原夏季甜脆豆病虫害发生及产量的影响[J].北方园艺,2012(2):17-20.
- [16] 胡守林,贾志宽,万素梅.陇东黄土高原苜蓿草地土壤水分消耗及水分生态效应[J].农业工程学报,2009,25(8):48-53.
- [17] 韩丽娜,丁静,韩清芳.黄土高原区草粮(油)翻耕轮作的土壤水分及作物产量效应[J].农业工程学报,2012,28(24):129-137.
- [18] 李明,郝建平,杜天庆,等.半干旱区 3 a 不同轮作组合系统的综合评价[J].山西农业科学,2014,42(10):1090-1094.
- [19] 李承力,杨特武,徐君驰,等.丹江口库区坡耕地不同轮作模式作物生产力及农田养分流失比较[J].水土保持学报,2011,25(4):83-87.
- [20] 周少平,谭广洋,沈禹颖,等.保护性耕作下陇东春玉米(冬小麦)夏大豆轮作系统土壤水分动态及水分利用效率[J].草业学报,2008,25(7):69-76.
- [21] 姚致远,王峥,李婧,等.旱地基于豆类绿肥不同轮作方式的经济效益分析[J].植物营养与肥料学报,2016,22(1):76-84.

(上接第 234 页)