

长期施肥与覆膜对半干旱区马铃薯产量及其水分利用效率和有机碳的影响

张平良¹, 刘晓伟¹, 郭天文^{2*}, 谭雪莲¹, 董博¹, 曾骏¹

(1. 甘肃省农业科学院旱地农业研究所 / 农业农村部西北旱地农业绿色低碳重点实验室, 甘肃 兰州 730070; 2. 甘肃省农业科学院, 甘肃 兰州 730070)

摘要:以国家土壤质量安定观测试验站黄绵土区的农田长期定位试验为研究对象, 研究长期施肥与覆膜对半干旱区马铃薯产量及其水分利用效率和有机碳的影响。结果表明, 在欠水年和正常平水年份, 地膜覆盖可显著提高马铃薯产量及其水分利用效率, 而丰水年份效果不明显。施肥显著影响马铃薯产量及其水分利用效率, 且以有机肥与化肥配施 (NPKM) 效果最好; 在定位施肥初期 (前 2 年), 单施化肥 (NPK) 的效果优于单施有机肥 (OM), 在第 3 年两者无差异, 而第 4 年之后则相反。长期施用有机肥 (NPKM 和 OM) 较 NPK 处理 0 ~ 20 cm 土壤有机碳含量显著提高了 77.35% 和 69.65%, 有机碳储量分别显著增加了 70.68% ~ 76.55% 和 62.09% ~ 63.31%。不同施肥处理对土壤微生物量碳的影响表现为 NPKM>OM>NPK>CK, 且差异显著, NPKM 和 OM 较 NPK 处理土壤微生物量碳含量分别显著增加了 43.99% 和 31.82%, 单施有机肥较单施化肥效果显著。长期覆膜与 NPK 处理可显著提高土壤微生物量碳含量, 而对有机碳含量及其储量影响不明显。综上所述, 长期有机肥与化肥配施 (NPKM) 或施用有机肥 (OM) 可显著提高旱地黄绵土总有机碳和微生物量碳含量, 增加有机碳储量, 有利于农田土壤固碳, 提高马铃薯产量及其水分利用效率。地膜覆盖对旱地马铃薯产量及其水分利用效率的影响与年际降水密切相关。

关键词:施肥; 覆膜; 产量; 水分利用效率; 有机碳; 半干旱区

西北黄土高原半干旱区长期受干旱胁迫、春季低温及降水与农作物需求错位的影响, 作物产量低而不稳^[1-2]。实践证明, 地膜覆盖能充分接纳雨水, 强化雨水的田间保蓄, 发挥土壤水库的调配作用, 有效减少土壤水分蒸发, 并能收集无效降雨化为有效应用, 可明显改善旱地作物的生长发育状况, 提高降水利用效率和作物产量^[3-6]。我国旱地马铃薯地膜覆盖栽培从 20 世纪 90 年代中期迅速掀起, 历经了 20 多年的半覆盖栽培阶段。近几年, 甘肃省提出了马铃薯全膜覆盖垄播技术, 并在干旱半干旱地区大面积推广应用^[7-8], 推动了马铃薯地膜覆盖栽培进入全覆盖时代。

土壤有机碳是耕地土壤肥力的重要组成部分,

是土壤质量和功能的核心^[9]。国内外研究表明, 影响土壤肥力的关键因子是土壤碳素, 任何土壤质量的变化都与土壤碳素数量和质量的变化休戚相关^[10-11]。近 30 年来, 许多学者在长期试验区域研究了不同管理措施对土壤有机碳含量及其稳定性的影响, 长期施肥显著提高了土壤有机碳含量, 化肥配施有机肥效果优于单施化肥, 且不同土壤质地条件下, 施用有机肥和化肥对有机碳及矿物结合态组分的影响程度存在显著差异^[12-13]。本研究是以甘肃定西黄绵土土壤肥力与肥料效益长期定位监测试验为平台, 探究长期施用化肥、有机肥以及地膜覆盖对旱地马铃薯产量及其水分利用和土壤有机碳的影响, 以期及早作覆盖农业作物高产、资源高效利用, 实现旱地农业可持续发展和土壤碳库固定提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

试验设在甘肃省农业科学院国家土壤质量安定观测试验站 (104° 36' E, 35° 35' N), 该区平均海拔 1970 m, 年平均气温 6.2 °C, ≥ 10 °C 的活

收稿日期: 2022-05-25; 录用日期: 2022-12-04

基金项目: 甘肃省重点研发计划 (20YF3WA010); 甘肃省农业科学院科技创新专项 (2022GAAS25); 公益性行业 (农业) 科研专项 (201503120); 国家重点研发计划 (2016YFD0200101)。

作者简介: 张平良 (1981-), 副研究员, 硕士, 长期从事作物养分管理与耕地培肥研究。E-mail: zhangpl2007@163.com。

通讯作者: 郭天文, E-mail: guotw@gsagr.ac.cn。

动积温 2075.1 ℃, 年均降水量 415 mm, 年蒸发量 1531 mm, 无霜期 146 ~ 149 d, 为典型西北黄土丘陵半干旱区。试验始于 2015 年 4 月, 土壤母质为黄土性物质, 属黄绵土。试验开始时耕层土壤理化性质为: 有机碳 10.62 g · kg⁻¹、全氮 0.78 g · kg⁻¹、硝态氮 22.13 mg · kg⁻¹、铵态氮 5.38 mg · kg⁻¹、有效磷 10.12 mg · kg⁻¹、速效钾 163.8 mg · kg⁻¹、pH 8.32。

0 ~ 100 cm 土层平均土壤容重 1.27 g · cm⁻³。试验区降水量见表 1, 降水量主要集中在 5—9 月, 占全年降水量的 77%, 其中 2015 和 2016 年马铃薯全生育期降水 253.2 和 247.0 mm, 为欠水年; 2017 年马铃薯全生育期降水 335.0 mm, 为正常平水年; 2018、2019 年马铃薯全生育期降水 416.2、440 mm, 均高于往年同期, 为丰水年。

表 1 试验区降水量 (mm)

年份	1 月	2 月	3 月	4 月	5 月	6 月	7 月	8 月	9 月	10 月	11 月	12 月	合计
2015	0.0	5.9	24.8	23.9	62.9	35.9	72.6	31.8	37.3	12.7	18.4	0.0	326.2
2016	1.0	5.4	7.8	28.1	89.5	13.1	45.7	29.4	17.2	52.1	15.8	0.0	305.1
2017	3.2	6.1	36.9	17.0	51.4	54.2	38.7	142.2	44.7	23.8	4.5	1.6	424.3
2018	16.2	5.3	6.9	51.9	35.5	89.9	135.2	88.6	58.6	8.4	31.3	0.8	528.6
2019	5.3	12.9	9.5	29.7	64.7	98.4	55.3	126.5	61.5	33.6	10.8	1.2	509.4
均值	5.1	7.1	17.2	30.1	60.8	58.3	69.5	83.7	43.9	26.1	16.2	0.7	418.7

1.2 试验设计

试验以马铃薯 (*Solanum tuberosum*) 为研究材料, 品种为“陇薯 10 号”。采用覆盖方式和施肥双因素随机区组设计, 覆盖方式设不覆膜 (露地平作, 以 NF 表示) 和地膜覆盖 (全膜覆盖垄播, 用 FM 表示) 2 个水平, 每个覆盖方式下设 4 个施肥水平: (1) 对照 (CK, 不施肥, 但种植作物)、(2) 单施氮磷钾 (NPK)、(3) 单施有机肥 (OM)、(4) 氮磷钾 + 有机肥 (NPKM)。小区面积为 20 m², 3 次重复。全膜覆盖垄播种植方式^[6]为全地面覆膜, 起单垄, 垄宽 60 cm, 高 15 cm, 沟宽 40 cm, 马铃薯种植在垄的两侧; 裸地平作地面不覆膜不起垄, 马铃薯直接点播。氮、磷、钾养分施用量分别为 N 180 kg · hm⁻²、P₂O₅ 90 kg · hm⁻²、K₂O 60 kg · hm⁻², 有机肥为纯羊粪, 用量为 45 t · hm⁻² (干重), 所有肥料于覆膜播前一次性施入。试验采用马铃薯连作种植, 马铃薯每年 4 月下旬播种, 10 月上旬收获, 田间管理措施与当地一致。

1.3 测定项目及方法

1.3.1 土壤有机碳和微生物量碳及有机碳储量测定

2019 年 10 月 18 日马铃薯收获后在田间取样, 每一试验小区按照“S”形多点取样法采集耕层 0 ~ 20 cm 原状土样混合, 装入硬质塑料盒带回实验室以备测试。土壤有机碳采用重铬酸钾外加热法测定^[14], 土壤微生物量碳采用 K₂SO₄- 氯

仿熏蒸法测定^[15]。土壤有机碳储量 (SOCR) 通过计算土壤碳密度 (SOCD) 求得。SOCD = SOC × b × d / 10, SOCR = S × SOCD; 式中, SOC 为土壤有机碳含量 (g · kg⁻¹), d 为土层厚度 (20 cm), b 为该土层土壤容重 (g · cm⁻³), S 为计算面积 (取 1 hm²), 计算过程中没有考虑土壤中直径 > 2 mm 的砂砾石含量。

1.3.2 水分利用效率测定^[6]

采用土钻烘干法, 在马铃薯播前、收获期沿马铃薯种植行任意两株间 0 ~ 100 cm 土层 (每 20 cm 为 1 个层次) 取样, 测定土壤水分含量。土壤贮水量 SWS (mm) = W_s × b × d, W_s 为土壤重量含水量, b 为土壤容重, d 为土壤深度; 水分利用效率 WUE = Y / ET, Y 为马铃薯单位面积鲜薯产量 (kg · hm⁻²), ET 为马铃薯生育期耗水量 (mm); ET = SWS_{BF} + P - SWS_{HA}, SWS_{BF} 为播前土壤贮水量 (mm), P 为马铃薯生育期降水量 (mm), SWS_{HA} 为收获后土壤贮水量 (mm)。

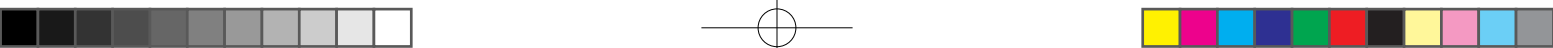
1.4 数据处理

采用 Excel 2007 计算并作图, DPS 9.50 进行方差分析。

2 结果与分析

2.1 覆膜与施肥对马铃薯产量的影响

由表 2 可知, 在不同降水年份, 地膜覆盖对



旱地马铃薯产量的影响表现不同, 其中 2015—2017 欠水和正常平水年份, 马铃薯产量受地膜覆盖因素的影响达到了极显著水平 ($P<0.01$), FM 较 NF 处理马铃薯产量分别显著提高了 39.60%、76.03%、53.75%。在 2018—2019 丰水年份下, 马铃薯产量受地膜覆盖因素的影响不明显, FM 与 NF 处理差异不显著。在不同降水年份下, 马铃薯产量受施肥因素的影响均达到显著水平, NPKM 处理马铃薯产量最高, CK 处理最低。在定位施肥前两年 (2015—2016 年) 马铃薯产量表现为 NPKM>NPK>OM>CK, 且差异显著, NPKM 较 NPK、OM、CK 处理分别增加 7.28% ~ 7.86%、14.35% ~ 17.19%、26.24% ~ 58.42%, NPK 较 OM、CK 处理分别增加 7.51% ~ 8.65%、17.04% ~ 50.58%, OM 较 CK 处理分别增加 7.73% ~ 38.54%; 定位施

肥第 3 年 (2017 年), 施肥处理较 CK 马铃薯产量均有不同程度增加, NPK 与 OM 处理无差异; 在定位施肥第 4 年 (2018 年) 和第 5 年 (2019 年), 不同施肥处理均表现为 NPKM>OM>NPK>CK, NPKM 与 OM 处理均显著高于 NPK 和 CK, 其中 NPKM 较 NPK 和 CK 处理马铃薯产量分别显著增加了 11.99% ~ 17.41% 和 29.50% ~ 68.98%, OM 较 NPK 和 CK 处理分别增加了 7.83% ~ 10.97% 和 28.32% ~ 57.63%, NPKM 与 OM 处理差异不明显。上述结果表明, 在西北半干旱区, 在欠水年和正常平水年份, 地膜覆盖可显著提高马铃薯产量, 而丰水年份效果不明显。马铃薯产量受施肥因素影响效果明显, 施肥初期 (前 2 年) 单施化肥马铃薯增产效果优于单施有机肥, 而长期 (第 4、第 5 年) 施用有机肥的效果明显好于化肥。

表 2 覆膜与施肥对马铃薯产量的影响 (kg · hm⁻²)

年份	处理	CK	NPK	OM	NPKM	平均值
2015	NF	27414	31091	28389	34392	30321bB
	FM	37019	44322	41021	46948	42327aA
	平均值	32216cC	37706abAB	34705bcBC	40670aA	
2016	NF	7137	10188	9705	10872	9476bB
	FM	12073	18179	16908	19560	16680aA
	平均值	9605cB	14184abA	13307bA	15216aA	
2017	NF	15077	19971	19486	22001	19134bB
	FM	23183	29107	29547	35835	29418aA
	平均值	19130bB	24539abAB	24516abAB	28918aA	
2018	NF	27251	31668	36002	36919	32960aA
	FM	29251	33668	36502	36252	33918aA
	平均值	28251bB	32668abAB	36252aA	36585aA	
2019	NF	23284	33268	35402	40002	32989aA
	FM	23685	34335	38635	39369	34006aA
	平均值	23485bB	33802abAB	37019aA	39685aA	

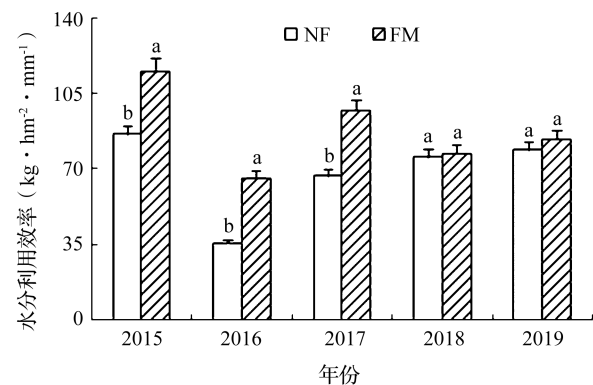
注: 同行或同列数据后不同大、小写字母分别表示处理间差异达 1% 和 5% 显著水平。下同。

2.2 覆膜与施肥对马铃薯水分利用效率的影响

由图 1 可知, 在不同降水年份, 地膜覆盖对旱地马铃薯水分利用效率的影响表现不同, 其中 2015—2017 欠水与正常平水年份, FM 较 NF 处理水分利用效率分别显著提高了 34.35%、84.53%、45.38%, 而在 2018—2019 丰水年份下, FM 与 NF 处理水分利用效率无差异。在不同降水年份, 不同施肥处理对水分利用效率的影响与产量变化基本一致。在定位施肥前两年 (2015—2016 年), 水分利用效率表现为 NPKM>NPK>OM>CK, 且差异显著, NPKM 较 NPK、

OM、CK 处理分别平均提高了 7.80% ~ 8.86%、15.05% ~ 16.64%、22.34% ~ 52.97%, NPK 较 OM 处理平均提高了 6.73% ~ 7.15%; 定位施肥第 3 年 (2017 年), 施肥处理水分利用效率较对照 CK 显著提高, NPK 与 OM 处理无差异; 定位施肥第 4 年 (2018 年), NPKM、OM 较 NPK 处理水分利用效率分别显著提高了 14.88%、16.28%, 较 CK 处理显著提高了 33.44%、35.06%; 定位施肥第 5 年 (2019 年), NPKM、OM 较 NPK 处理水分利用效率提高了 20.43%、14.90%, 但差异不显著, 较 CK

处理显著提高了 59.50%、52.17%，NPKM 与 OM 处理无显著差异。上述结果表明，在西北半干旱区，在欠水年和正常平水年份，地膜覆盖可显著提高马铃薯水分利用效率，而丰水年份效果不明显。马铃薯



薯水分利用效率受施肥因素影响明显，施肥初期（前 2 年）单施化肥效果优于单施有机肥，第 3 年两者无差异，而长期（第 4、第 5 年）施用有机肥的效果好于化肥，这与产量结果变化规律一致。

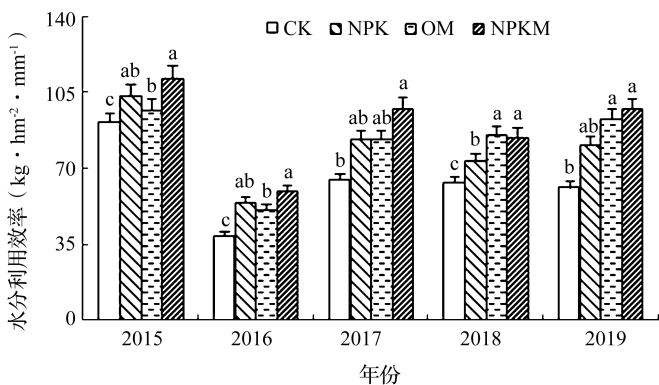


图 1 覆膜和施肥对马铃薯水分利用效率的影响

注：柱上不同小写字母表示同一年份不同处理间差异显著 ($P<0.05$)。

2.3 覆膜与施肥对 0 ~ 20 cm 土壤有机碳的影响

由表 3 可知，在西北黄土丘陵半干旱区和黄绵土条件下，连续 5 年马铃薯定位试验，耕层 0 ~ 20 cm 土壤有机碳含量受施肥因素的影响达到了极显著水平 ($P<0.01$)，而受地膜覆盖的影响不显著，且两者互作效应不显著。不同施肥处理 0 ~ 20 cm 土壤有机碳含量表现为 NPKM 处理最高，其次是 OM 处理，NPKM 和 OM 显著高于 NPK、CK 处理。其

中 NPKM 较 OM、NPK、CK 处理分别显著提高了 7.17%、77.35%、81.85%，OM 较 NPK 和 CK 处理分别显著提高了 69.65% 和 65.44%，NPK 与 CK 无差异。FM 与 NF 处理无差异。结果表明，在西北半干旱区，连续 5 年种植马铃薯条件下，有机肥与化肥配施和单施有机肥较单施化肥可显著增加 0 ~ 20 cm 土壤有机碳含量，而地膜覆盖与单施化肥对耕层土壤有机碳含量影响不明显。

表 3 覆膜与施肥对 0 ~ 20 cm 土壤有机碳的影响 (g · kg⁻¹)

处理	CK	NPK	OM	NPKM	平均值
NF	10.22 ± 0.17	10.47 ± 0.16	17.40 ± 0.50	18.81 ± 0.46	14.23aA
FM	10.25 ± 0.37	10.52 ± 0.25	17.35 ± 0.72	18.43 ± 0.74	14.14aA
平均值	10.24cC	10.50cC	17.37bB	18.62aA	—

由图 2 可知，无论是 FM 还是 NF 条件下，不同施肥处理对耕层土壤有机碳储量的影响均表现为 NPKM 处理最高，其次是 OM 处理，NPK 与 CK 处理无差异。在 NF 方式下，NPKM 较 NPK、CK 处理分别显著增加了 76.55%、79.33%，OM 较 NPK、CK 处理分别显著增加了 63.31%、65.87%，NPKM 较 OM 处理显著提高了 8.12%。在 FM 方式下，NPKM 较 NPK 和 CK 处理分别显著增加了 70.68% 和 75.20%，OM 较 NPK、CK 处理分别显著增加了 62.09%、66.38%，NPKM 较 M 处理提高了 5.29%。FM 与 NF 处理无差异。结果表明，与单施化肥和不施肥相比，有机肥与化肥配施和单施有机肥可显著提高耕层土壤有机碳储量，有利于促进农田土壤固碳，而覆膜影响不明显。

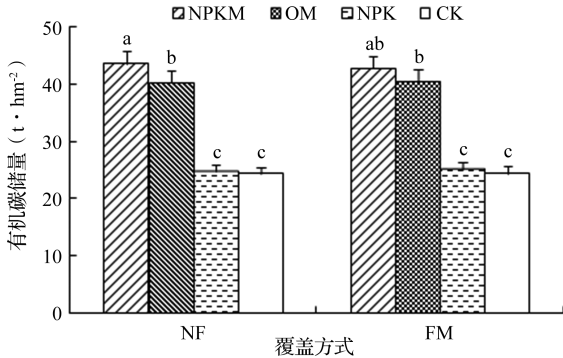
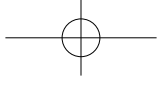


图 2 覆膜与施肥对耕层 0 ~ 20 cm 土壤有机碳储量的影响

注：柱上不同小写字母表示处理间差异显著 ($P<0.05$)。

2.4 覆膜与施肥对 0 ~ 20 cm 土壤微生物量碳的影响

由表 4 可知，微生物量碳受地膜覆盖的影响



达到了显著水平 ($P<0.05$), 受施肥因素的影响达到了极显著水平 ($P<0.01$), 而两者互作效应不显著。不同施肥处理对 0 ~ 20 cm 土壤微生物量碳的影响表现为 $\text{NPKM}>\text{OM}>\text{NPK}>\text{CK}$, 且各处理间差异显著, NPKM 较 OM、NPK、CK 处理分别显著提高了 9.24%、43.99%、82.17%, OM 较 NPK、CK 处理分别显著提高了 31.82%、66.77%, NPK 较 CK

处理显著提高了 26.51%。FM 较 NF 处理微生物量碳显著提高了 9.09%。上述结果表明, 在西北黄土丘陵区连续 6 年种植马铃薯条件下, 长期地膜覆盖和施肥 (化肥、有机肥) 均可显著提高旱地黄绵土 0 ~ 20 cm 土壤微生物量碳含量, 且化肥配施有机肥 (NPKM) 效果最好, 单施有机肥 (OM) 较单施化肥 (NPK) 效果明显。

表 4 覆膜与施肥对 0 ~ 20 cm 土壤微生物量碳的影响

(mg · kg⁻¹)

处理	CK	NPK	OM	NPKM	平均值
NF	189.80 ± 30.73	232.08 ± 20.63	308.53 ± 19.65	330.72 ± 16.26	265.28bA
FM	195.77 ± 26.29	255.71 ± 7.56	334.47 ± 21.76	371.60 ± 31.07	289.39aA
平均值	192.78cC	243.89bB	321.50abA	351.16aA	—

3 讨论

土壤有机碳是反映土壤质量和生产力的重要指标, 其含量影响土壤肥力^[16]。土壤微生物量碳在土壤有机碳中所占比例小, 但其具有在土壤中移动快、不稳定、易氧化、易分解、易矿化的特点, 因对土壤质量和生产力的反应更为敏感, 所以能够作为反映不同管理措施对土壤有机碳影响的重要指标。大量研究表明, 长期施肥对土壤有机碳及活性组分有显著影响^[17-20], 其中, 有机肥的施用可以显著增加有机碳及其活性组分含量^[18-19], 而化肥的影响却因气候条件、土地类型以及施肥耕作条件的复杂性而不尽相同^[18]。本研究结果表明, 在西北半干旱区和黄绵土条件下, 连续 5 年种植马铃薯, 长期化肥与有机肥配施 (NPKM) 和单施有机肥 (OM) 较单施化肥 (NPK) 0 ~ 20 cm 土壤有机碳含量显著增加了 77.35% 和 69.65%, 有机碳储量分别显著增加了 70.68% ~ 76.55% 和 62.09% ~ 63.31%, 有利于促进农田土壤固碳, 这与人研究结果基本一致, 长期施用有机肥增加了土壤碳源, 已成为土壤有机碳增加的根本原因^[18]。因为施用有机肥一方面直接增加了土壤中碳源的投入, 另一方面, 施用有机肥使作物生物量尤其是根茬及根系分泌物的归还量大量增加, 从而间接增加了碳的投入量^[21]。本研究中单施化肥 (NPK) 与不施肥 (CK) 有机碳含量无差异, 不同于苗淑杰等^[22]和乔云发等^[23]的研究, 与赵丹丹等^[17]在旱作黑垆土、郭振等^[24]在黄壤性水稻土上的研究一致。但其原因在于, 单施化肥处理下, 土壤中无外源有机物质的投入, 有机碳的来源主要依靠作物

收获后残留在土壤中的作物根茬, 而这部分残留物不足以弥补有机碳的矿化消耗, 并且, 即使每年施用化肥也不能阻止土壤有机碳的矿化, 最终导致土壤有机碳的亏缺^[25]。

土壤微生物量是植物营养物质的源和库, 并积极参加养分循环, 代表土壤养分的活性部分, 因此常被用于评价土壤质量的生物学性状^[26]。土壤微生物量碳是土壤有机碳的灵敏指示因子。许多研究表明, 土壤微生物量较其它土壤性质能够迅速地响应施肥管理 (有机肥和无机肥)、作物体系、耕作和休闲以及土地利用方式的差异^[27-28]。在施肥管理方面的研究表明, 施用有机肥可以显著提高土壤微生物量碳、氮的含量, 其中随着有机肥施用量的增加, 土壤微生物量碳增加越明显^[27, 29]。本研究表明, 长期施用有机肥 (NPKM、OM) 能显著提高土壤微生物量碳含量, 且均高于单施化肥处理, 其中 NPKM 和 OM 较 NPK 处理微生物量碳分别显著提高了 43.99% 和 31.82%。Goyal 等^[30]对 10 年以上无机有机肥配合施用情况下土壤微生物量碳、氮的变化进行了研究, 都说明施有机肥直接增加根系生物量及根系分泌物, 可促进活性有机碳积累, 促进微生物生长繁殖, 使土壤微生物量碳含量明显高于单施化肥的处理。

人们关于覆膜对不同类型土壤有机碳的影响研究结果不相同^[31-34]。本研究表明, 连续 5 年种植马铃薯条件下, FM 较 NF 处理有机碳含量和储量没有变化, FM 较 NF 处理微生物量碳含量显著提高了 9.09%, 这与薛菁芳等^[32]、史建国等^[33]研究结果一致, 而张成娥等^[34]研究表明, 地膜覆盖种植玉米对土壤微生物量碳、氮产生重要影响, 其影

响程度与作物生育期有关。另外, 本研究表明, 在西北半干旱区, 在欠水年份与正常平水年份, FM 较 NF 条件可显著提高马铃薯产量及其水分利用效率, 这与其他学者^[6, 35]研究结果一致, 而丰水年份效果不明显。马铃薯产量及其水分利用效率受施肥因素影响效果明显, 施肥初期(前2年)单施化肥效果优于单施有机肥, 而长期(第4、第5年)施用有机肥的效果明显好于化肥, 这与长期施用有机肥增加土壤有机碳, 提高土壤养分肥力有关。

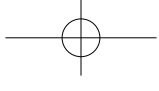
4 结论

在西北黄土丘陵半干旱区, 欠水年和正常平水年份, 地膜覆盖可显著提高马铃薯产量及其水分利用效率, 而丰水年份效果不明显, 表明地膜覆盖对旱地马铃薯产量及其水分利用效率的影响与年际降水密切相关。施肥对马铃薯产量及其水分利用效率的影响效果明显, 定位施肥初期(前2年)单施化肥(NPK)的效果优于单施有机肥(OM), 在第3年两者无差异, 而在第4年及其之后则相反。

在西北黄土丘陵半干旱区和黄绵土条件下, 连续种植5年马铃薯, 长期有机肥与化肥配施(NPKM)或施用有机肥(OM)较单施化肥(NPK)显著增加旱地黄绵土0~20 cm土壤有机碳和微生物量碳含量, 且增加有机碳储量, 有利于农田土壤固碳。地膜覆盖与单施化肥可显著提高0~20 cm土壤微生物量碳含量, 而对总有机碳含量及其储量影响不明显。

参考文献:

- [1] 肖国举, 王静. 黄土高原集水农业研究进展[J]. 生态学报, 2003, 23(5): 1003-1011.
- [2] 李凤民, 王静, 赵松岭. 半干旱黄土高原集水高效农业的发展[J]. 生态学报, 1999, 19(2): 152-157.
- [3] 王彩绒, 田霄鸿, 李生秀. 沟垄覆膜集雨栽培对冬小麦水分利用效率及产量的影响[J]. 中国农业科学, 2004, 37(2): 208-214.
- [4] 王红丽, 张绪成, 宋尚有, 等. 旱地全膜双垄沟播玉米的土壤水热效应及其对产量的影响[J]. 应用生态学报, 2011, 22(10): 2609-2614.
- [5] 侯慧芝, 吕军峰, 郭天文, 等. 西北黄土高原半干旱区全膜覆土穴播对土壤水热环境和小麦产量的影响[J]. 生态学报, 2014, 34(19): 5503-5513.
- [6] 王红丽, 张绪成, 于显枫, 等. 黑色地膜覆盖的土壤水热效应及其对马铃薯产量的影响[J]. 生态学报, 2016, 36(16): 5215-5226.
- [7] Wang X L, Li F M, Jia Y, et al. Increasing potato yields with additional water and increased soil temperature[J]. Agricultural Water Management, 2005, 78: 181-194.
- [8] Hai L, Li X G, Liu X E, et al. Plastic mulch increases soil nitrogen mineralization in a semiarid environment[J]. Agronomy Journal, 2015, 107: 921-930.
- [9] Pan G X, Zhao Q G. Study on evolution of organic carbon stock in agricultural soils of China: facing the challenge of global change and food security[J]. Advances in Earth Science, 2005, 20(4): 384-393.
- [10] Reeves D W. The role of soil organic matter in maintaining soil quality in continuous cropping systems[J]. Soil & Tillage Research, 1997, 43: 131-167.
- [11] Franzluebbers A J. Soil organic matter stratification ratio as an indicator of soil quality[J]. Soil & Tillage Research, 2002, 66(2): 95-106.
- [12] 樊红柱, 秦鱼生, 陈庆瑞, 等. 长期施肥紫色水稻土团聚体稳定性及其固碳特征[J]. 植物营养与肥料学报, 2015, 21(6): 1473-1480.
- [13] 蔡岸冬, 张文菊, 杨品品, 等. 基于 Meta-analysis 研究施肥对中国农田土壤有机碳及其组分的影响[J]. 中国农业科学, 2015, 48(15): 2995-3004.
- [14] 鲍士旦. 土壤农化分析[M]. 3版. 北京: 中国农业出版社, 2013.
- [15] Vance E D, Brookes P C, Jenkinson D S. An extraction method for measuring soil microbial biomass C[J]. Soil Biology and Biochemistry, 1987, 19(19): 703-707.
- [16] Sainju U M, Lenssen A, Caesar-Thonthat T, et al. Dryland plant biomass and soil carbon and nitrogen fractions on transient land as influenced by tillage and crop rotation[J]. Soil & Tillage Research, 2007, 93: 452-461.
- [17] 赵丹丹, 王俊, 付鑫, 等. 长期定位施肥对旱作农田土壤有机碳及其组分的影响[J]. 干旱地区农业研究, 2017, 35(5): 97-102.
- [18] 臧逸飞, 郝明德, 张丽琼, 等. 26年长期施肥对土壤微生物量碳、氮及土壤呼吸的影响[J]. 生态学报, 2015, 35(5): 1445-1451.
- [19] 张贵龙, 赵建宁, 宋晓龙, 等. 施肥对土壤有机碳含量及碳库管理指数的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2012, 18(2): 359-365.
- [20] 陈云峰, 韩雪梅, 胡诚, 等. 长期施肥对黄棕壤固碳速率及有机碳组分影响[J]. 生态环境学报, 2013, 22(2): 269-275.
- [21] 王朔林, 杨艳菊, 王改兰, 等. 长期施肥对栗褐土有机碳矿化的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2016, 22(5): 1278-1285.
- [22] 苗淑杰, 周连仁, 乔云发, 等. 长期施肥对黑土有机碳矿化和团聚体碳分布的影响[J]. 土壤学报, 2009, 46(6): 1068-1074.
- [23] 乔云发, 韩晓增, 韩秉进, 等. 长期施用化肥对农田黑土有机碳和氮消长规律的影响[J]. 中国土壤与肥料, 2007(4):



- 30-33.
- [24] 郭振, 王小利, 段建军, 等. 长期施肥对黄壤性水稻土有机碳矿化的影响 [J]. 土壤学报, 2018, 55 (1): 225-233.
- [25] 隋跃宇, 张兴义, 焦晓光, 等. 长期不同施肥制度对农田黑土有机质和氮素的影响 [J]. 水土保持学报, 2005, 19(6): 190-192.
- [26] 徐阳春, 沈其荣, 冉炜, 等. 长期免耕与施用有机肥对土壤微生物生物量碳、氮、磷的影响 [J]. 土壤学报, 2002, 39 (1): 89-96.
- [27] 贾伟, 周怀平, 解文艳, 等. 长期有机无机肥配施对褐土微生物生物量碳、氮及酶活性的影响 [J]. 植物营养与肥料学报, 2008, 14 (4): 700-705.
- [28] Wang X L, Jia Y, Li X G, et al. Effects of land use on soil total and light fraction organic, and microbial biomass C and N in a semi-arid ecosystem of northwest China [J]. Geoderma, 2009, 153 (1/2): 285-290.
- [29] 胡诚, 曹志平, 胡婵娟, 等. 不同施肥管理措施对土壤碳含量及基础呼吸的影响 [J]. 中国生态农业学报, 2007, 15 (5): 63-66.
- [30] Goyal S, Chander K, Mundra M C, et al. Influence of inorganic fertilizers and organic amendments on soil organic matter and soil microbial properties under tropical conditions [J]. Biology and Fertility of Soils, 1999, 29 (2): 196-200.
- [31] 刘秀, 司鹏飞, 张哲, 等. 地膜覆盖对北方旱地土壤水稳性团聚体及有机碳分布的影响 [J]. 生态学报, 2018, 38 (21): 7870-7877.
- [32] 薛菁芳, 高艳梅, 汪景宽, 等. 长期施肥与地膜覆盖对土壤微生物量碳氮的影响 [J]. 中国土壤与肥料, 2007 (3): 55-58.
- [33] 史建国, 刘景辉, 史君卿, 等. 地膜再利用对土壤微生物量碳的影响 [J]. 作物杂志, 2014 (5): 75-79.
- [34] 张成娥, 梁银丽, 贺秀斌. 地膜覆盖玉米对土壤微生物量的影响 [J]. 生态学报, 2002, 22 (4): 508-512.
- [35] 侯慧芝, 王娟, 张绪成, 等. 半干旱区全膜覆盖垄上微沟种植对土壤水热及马铃薯产量的影响 [J]. 作物学报, 2015, 41 (10): 1582-1590.

Effects of long-term fertilization and plastic-mulching on yield and water use efficiency of potato and soil organic carbon in semi arid area

ZHANG Ping-liang¹, LIU Xiao-wei¹, GUO Tian-wen^{2*}, TAN Xue-lian¹, DONG Bo¹, ZENG Jun¹ (1. Dry Land Agriculture Institute, Gansu Academy of Agricultural Sciences / Key Laboratory of Low-carbon Green Agriculture in Northwestern China, Ministry of Agriculture and Rural Affairs, Lanzhou Gansu 730070; 2. Gansu Academy of Agricultural Sciences, Lanzhou Gansu 730070)

Abstract: Taking long-term farmland positioning experiment in loessal soil of the national soil quality observation and test station in Anding district of Gansu province as the research object, the effects of long-term fertilization and plastic-mulching on yield and water use efficiency of potato and soil organic carbon in semi-arid area were studied. The results showed that plastic-mulching significantly improved the yield and water use efficiency of potato in years of insufficient and normal precipitation, and the effect was not obvious in years of relatively sufficient precipitation. Fertilization significantly affected the yield and water use efficiency of potato, and the effect of combined application of organic fertilizer and chemical fertilizer (NPKM) was the best. In the first two years of the experiment, the effect of applying chemical fertilizer (NPK) was better than that of organic fertilizer (OM), and there was no difference in the third year of the long-term positioning experiment, but the effect of OM was better than that of NPK after the fourth year of the long-term positioning experiment. Compared with NPK treatment, the content of organic carbon of long-term organic fertilizer treatments (NPKM and OM) increased significantly by 77.35% and 69.65%, respectively, and organic carbon storage increased significantly by 70.68% ~ 76.55% and 62.09% ~ 63.31%, respectively, in 0 ~ 20 cm soil layer. The effects of different fertilization treatments on soil microbial biomass carbon were as follows: NPKM>OM>NPK>CK. There was significant difference between treatments, and soil microbial biomass carbon of NPKM and OM treatments increased significantly by 43.99% and 31.82%, respectively, compared with NPK, and the effect of organic fertilizer application was better than that of chemical fertilizer. Long-term plastic-mulching and NPK treatment significantly improved the content of microbial biomass carbon, however, they was no obvious effect on the content and storage of organic carbon. In conclusion, long-term organic fertilizer combined with chemical fertilizer (NPKM) or organic fertilizer (OM) can significantly improve the contents of total organic carbon and microbial biomass carbon of loessal soil in dryland, and increase organic carbon storage and promote the sequestration of farmland soil carbon, and improve yield and water use efficiency of potato. The effects of plastic-mulching on yield and water use efficiency of potato are closely related to interannual precipitation in dryland.

Key words: fertilization; plastic-mulching; yield; water use efficiency; soil organic carbon; semi arid area