

甘肃沿黄灌区马铃薯 / 大豆套作效应分析

杨 国¹, 陈光荣^{2,3}, 王立明^{2,3}, 杨如萍^{2,3}, 董 博^{2,3}, 张国宏^{2,3}, 李城德⁴, 杨桂芳⁵
(1. 甘肃省靖远县农牧局, 甘肃 靖远 730600; 2. 甘肃省农业科学院旱地农业研究所, 甘肃 兰州 730070; 3. 农业部西北作物抗旱栽培与耕作重点实验室, 甘肃 兰州 730070; 4. 甘肃省农业技术推广总站, 甘肃 兰州 730020; 5. 甘肃环科雅农业科技有限公司, 甘肃 兰州 730070)

摘要: 应用土地当量比、产量当量、产值当量等不同量化指标, 对甘肃沿黄灌区马铃薯套作大豆产出效果进行分析, 通过测定薯豆套作复合群体光合参数、土壤养分、微生物数量及作物品质及调查间套作系统中杂草生长状况等, 研究马铃薯间套作大豆的生理效应及微生态效益。结果表明, 马铃薯套作大豆的模式(薯/豆)显著提高了日照利用率、 $\geq 10\text{ }^{\circ}\text{C}$ 温度利用率、绿色期降水利用率及地面覆盖期利用率, 可提高土地复种指数及土地利用效率, 具有良好的产出效果, 单位面积产量间作当量比、产值间作当量比分别为 1.53 和 1.49。由于马铃薯对氮素和钾素吸收量大, 而大豆对磷素比较敏感, 马铃薯/大豆套作模式具有很强的养分吸收互补特性, 可显著提高作物对养分资源的高效利用, 降低化肥施用量。马铃薯/大豆连续套作可提高土壤有机质含量、促进土壤微生物活性和酶活性, 有效改善土壤微生物结构, 在一定程度上缓解了马铃薯连作障碍; 还能降低马铃薯淀粉含量, 极显著降低还原糖的含量, 提高商品薯率、维生素 C 和蛋白质含量。马铃薯套作大豆栽培模式实现了土地、劳动力、土壤养分和水热资源在时间和空间上的集约化利用, 具有提高土地产出量及可持续利用性的优势, 同时能适应机械化作业, 显著提高生产效率, 适宜在西北沿黄灌区大面积示范推广。

关键词: 马铃薯/大豆; 沿黄灌区; 连作障碍; 品质; 产出效果; 生态效益

中图分类号: S532; S565.1; S344.3 **文献标志码:** A **文章编号:** 1001-1463(2017)07-0043-07

doi: 10.3969/j.issn.1001-1463.2017.07.011

Benefit Analysis of Potato Intercropping with Soybean in Northwest Irrigation Areas

YANG Guo¹, CHEN Guangrong^{2,3}, WANG Liming^{2,3}, YANG Ruping^{2,3}, DONG Bo^{2,3}, ZHANG Guohong^{2,3}, Li Chende⁴, YANG Guifang⁵

(1. Jingyuan Farming and Animal Husbandry Bureau, Jingyuan Gansu 730600, China; 2. Institute of Dryland Agriculture, Gansu Academy of Agricultural Sciences, Lanzhou Gansu 730070, China; 3. Key Laboratory of Northwest Drought Crop Cultivation of Chinese Ministry of Agriculture, Lanzhou Gansu 730070, China; 4. Gansu Institute of Agriculture Technology Extension Center, Lanzhou Gansu 730020, China; 5. Gansu Central Key green agriculture Technology Ltd, Lanzhou Gansu 730070, China)

Abstract: Field experiments are conducted in Northwest irrigation districts along Yellow river from 2013 to 2016. The concept related to yield equivalent and value of output equivalent is proposed, using various quantitative standards such as land equivalent ratio, yield equivalent, and value of output equivalent, the efficiency and the economic benefit. The physiological effect and micro ecological benefit on photosynthetic properties, soil microorganism populations, crop quality and weed control in intercropping systems are studied systematically. Early potato and soybean intercropping could significantly improve illumination effective utilization, $\geq 10\text{ }^{\circ}\text{C}$ temperature effective utilization, rainfall effective utilization during green period and ground cover effective utilization. Intercropping significantly improved the land use efficiency, the unit area yield and the unit area value are 1.53 and 1.49 times of sole cropping. Intercropping also significantly improved soil microbial structure and crop quality, and therefore alleviated the obstacles of continuous cropping. Early potato and soybean intercropping is an effective cultivation method with great ecological and economic benefits. In addition to Labor, soil, heat and water resource intensively utilizing temporally and spatially, Early potato and soybean intercropping could increase the crop yield per unit area greatly, which could be extended at large scale.

Key words: Potato/ Soybean; Northwest irrigation areas; Continuous cropping obstacle; Quality; Yield effect; Ecological benefit

沿黄灌区是西北地区乃至全国重要的早熟马铃薯生产基地, 该区域马铃薯种植逐渐呈现规模

收稿日期: 2017-05-31

基金项目: 国家自然科学基金(31660134); 兰州市农业科技专项(2015-3-37); 甘肃省农业科学院中青年基金(2015GAAS20); 国家现代农业产业技术体系建设专项(CARS-04-CES17)。

作者简介: 杨 国(1970—), 男, 甘肃靖远人, 高级农艺师, 主要从事农业高效栽培技术与推广工作。E-mail: yangguo5518@163.com。

通信作者: 陈光荣(1980—), 男, 甘肃皋兰人, 博士, 主要研究方向为作物高产高效栽培理论与技术。E-mail: chengr516@163.com。

化、机械化和集约化趋势。然而,伴随着马铃薯产业的发展,该区域出现种植结构相对单一、倒茬困难和马铃薯多年连作的局面,导致马铃薯生长发育受阻、病虫害猖獗、产量和品质下降等一系列问题。生产上需要通过轮作倒茬来缓解连作障碍,这就妨碍了马铃薯种植面积的扩大且增加了基地建设成本。近年来,马铃薯/大豆高产高效栽培模式在西北地区大面积被应用,该模式有效缓解了马铃薯连作障碍,为该区域马铃薯产业的可持续发展起到了重要作用。

关于马铃薯的间套作研究主要集中在间套作物生物学特性上的差异,能够在资源上时空互补利用,如早熟马铃薯/大豆套作高效栽培模式、玉米/马铃薯间作模式和棉花/马铃薯间作模式等^[1-3];其次,间套作条件下相对冷凉的群体环境有利于马铃薯生长和块茎形成^[4-6];此外,间套作显著抑制马铃薯的晚疫病及虫害^[6-7]。在间套作改善微生态效益方面也做了一些研究^[8-13],如利用苜蓿-马铃薯带状间作来滞迟薯田的土壤风蚀,黑麦草-苜蓿-马铃薯间作以增大冬季地表覆被比率,小麦-大豆/柴胡间套作模式可有效防止北方冬春季风沙的危害,有效的保持水土,防止土壤侵蚀。对间套作栽培改善土壤微生物环境,增加微生物多样性的研究也有报道^[13-15]。如小麦/蚕豆、玉米/蚕豆和小麦/玉米间作能够提高作物根际细菌群落多样性,改变根际细菌群落结构组成,玉米/蚕豆和玉米/鹰嘴豆间作后其根际微生物多样性指数显著高于单作。对马铃薯间套作栽培技术和经济效益方面研究也有报道。曹国璠等^[16]从7种作物6种间套作模式中,筛选出马铃薯套玉米间胡萝卜的效益最高;陈光荣等^[17]对西北沿黄灌区不同作物间套作大豆模式的研究结果表明,早熟马铃薯间套作大豆模式经济效益最高。但有关马铃薯间套作生理、生态效益方面研究不多。多年来我们在西北沿黄灌区通过对品种搭配、带幅、播期、密度及行穴配置等栽培因子的试验研究,初步确定了早熟马铃薯套作大豆高产高效栽培模式,并通过对该模式产出效果、生理效应及生态效益进行分析,进一步完善了该栽培模式。本文应用土地当量比、产量当量、产值当量等不同量化指标对产出效果进行分析,通过测定薯豆套作复合群体光合参数、土壤微生物数量及作物品质,调查间套作系统中杂草生长状况等,研究

了早熟马铃薯间套作大豆的生理效应及微生态效益,以期建立新型高产高效优质薯豆套作模式提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料

指示品种选用河北省农林科学院粮油作物研究所育成的大豆品种冀豆17和黑龙江省马铃薯研究所选育的早熟马铃薯品种克新4号。

1.2 试验地概况

试验于2013—2016年在地处甘肃沿黄灌区的甘肃省靖远县进行,当地地理位置36°57'N、104°68'E,海拔1580m,年平均气温7.9℃。年均降水量293.7mm,其中7—9月份占全年降水量的60%左右,年蒸发量达1600mm,是平均降水量的5倍。≥10℃的有效积温3244℃,气候四季分明,日照充足。试验地土壤为灰钙土和灌淤土。

1.3 田间试验设计及种植规格

试验采用单因素随机区组设计,共设3个处理,分别为早熟马铃薯间套作大豆、大豆单作、马铃薯单作,3次重复,小区面积为56m²。按垄宽100cm、垄高30cm的规格起垄,垄面呈弧形。早熟马铃薯间套作大豆处理垄面覆膜后于3月20日每隔1垄在垄面按行距45.0cm、穴距22.0cm种植2行马铃薯,种植密度为45000穴/hm²;于4月15日在其余垄面按行距40.0cm、株距12.5cm种植2行大豆,种植密度为100000株/hm²。大豆单作处理垄面覆膜后于4月15日在每垄垄面按行距40.0cm、株距12.5cm种植2行大豆,种植密度为200000株/hm²。马铃薯单作处理垄面覆膜后于3月20日在每垄垄面按行距45.0cm、穴距22.0cm种植2行马铃薯,种植密度90000穴/hm²。肥水及大田管理同当地常规生产。

1.4 间作效果的定量评价指标及计算

土地当量比(LE_R)是指获取与某种种植方式单位面积同等产量,同类农田相同作物单作所需的土地总面积。

土地当量比(LE_R)的计算公式为:

$$LE_R = Y_i / Y_{i'} = \sum_{i=1}^n Y_1 / Y_{1'} + Y_2 / Y_{2'} + \cdots + Y_n / Y_{n'} \quad (1)$$

式中, Y_i 为单位面积内复种农田各作物的产量或产值; $Y_{i'}$ 为单位面积内与复种相应的各作物一熟时的产量或产值; n 为间套作农田种植或收获的次數; i 为间套种的各种作物。

间作当量(IE)是指间作农田单位面积产量或产值与相同地块间作各作物单作产量或产值加权平均数的比值。

间作当量的计算公式:

$$IE = \frac{\sum_{i=1}^n Y_i}{\sum_{i=1}^n (Y_i' \times K_i)} = \frac{(Y_1 + Y_2 + \dots + Y_n)}{(Y_1' \times K_1 + Y_2' \times K_2 + \dots + Y_n' \times K_n)} \quad (2)$$

式中 Y_i 为单位面积内间作群体各作物产量或产值; Y_i' 为单位面积内间作的各作物单作时产量或产值; K_i 为间作的各作物的占地系数; n 为间作各作物的种类或数量; i 为间作群体中的各作物。间作当量可分为产量间作当量和产值间作当量。若以作物产量为比较参数, 则为产量间作当量; 若以作物产值为比较参数, 则为产值间作当量。

1.5 观测指标

1.5.1 光合参数测定 采用美国 LI-COR 公司生产的 LI-6400 便携式光合测定系统。测定马铃薯及大豆单叶光合速率、蒸腾速率、气孔导度, 分别于马铃薯及大豆苗期、花期、成熟期测定, 测定时间为上午 9:30 ~ 11:30 时。

1.5.2 土壤微生物数量测定 细菌、真菌、放线菌计数采用稀释涂布平板法。细菌采用牛肉膏蛋白胨琼脂培养基, 放线菌采用改良的高氏一号培养基 (每 300 mL 培养基中加 30 mg/g 重铬酸钾 1 mL), 真菌采用 PDA 培养基 (每 100 mL 培养基加 1% 链霉素溶液 0.3 mL)。结果以每 1 g 干土所含数量表示。

1.5.3 作物品质测定 粗脂肪含量用索氏提取法, 蛋白质含量用凯氏定氮法, 干物质测定用烘干恒重法, 维生素 C 采用荧光法, 粗淀粉采用酸水解-旋光法, 还原糖用氰化盐法。

1.5.4 生态气候指标测定 日照利用率 = [作物生长期间的总光照时数(h)/本地全年总光照时数(h)] × 100%; ≥5 °C 温度利用率 = [作物生长期 ≥5 °C 积温(°C)/本地全年 ≥5 °C 积温(°C)] × 100%; 绿色期降水利用率 = 作物生长期间的总降水量(mm)/

本地全年总降水量(mm); 地面覆盖期利用率 = [作物生长期总天数(d)/全年天数(d)] × 100%。

1.5.5 杂草生长情况调查 马铃薯开花期在各小区用单位平方尺随机固定面积调查固定面积内杂草株数。

1.6 数据处理

试验数据均用 Microsoft Excel 和 DPS 统计软件进行试验数据汇总与统计分析。

2 结果与分析

2.1 作物生长动态分析

由图 1 可知, 套作马铃薯与马铃薯单作的干物质积累进程在生长前期基本一致, 6 月 20 日以后(大豆进入始花期, 见表 1), 马铃薯与套作大豆进入生殖生长共生期, 此时期为 40 d(见表 1), 两种作物对水肥的竞争强, 此时套作马铃薯相对于马铃薯单作干物质变化趋于平缓, 套作与单作干物质积累差异在前期较小, 后期逐渐明显, 从而导致套作马铃薯产量略有下降。套作大豆与大豆单作干物质积累特点明显不同(见图 2), 首先, 大豆单作在出苗后 60 d 内干物质积累最快, 而同期套作大豆生长缓慢, 平均不足大豆单作的一半, 出现这种现象的主要原因是两种作物共生期马铃薯竞争能力强, 迫使大豆处于劣势地位, 生长缓

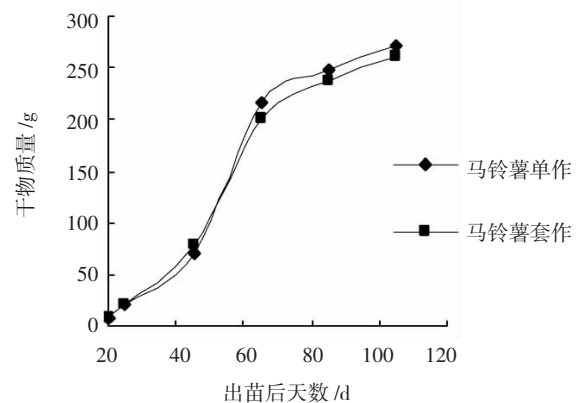


图 1 单作及套作马铃薯干物质积累特点

表 1 作物的物候期及生育期

种植方式	播期 / (日/月)	出苗期 / (日/月)	始花期 / (日/月)	成熟期 / (日/月)	大豆与马铃薯共生天数 /d	大豆与马铃薯生殖生长的天数 /d
大豆单作	20/4	3/5	26/6	25/9		
马铃薯单作	18/3	21/4	24/5	2/8		
大豆套作	20/4	1/5	23/6	26/9	93	40
马铃薯套作	18/3	21/4	25/5	2/8	93	40

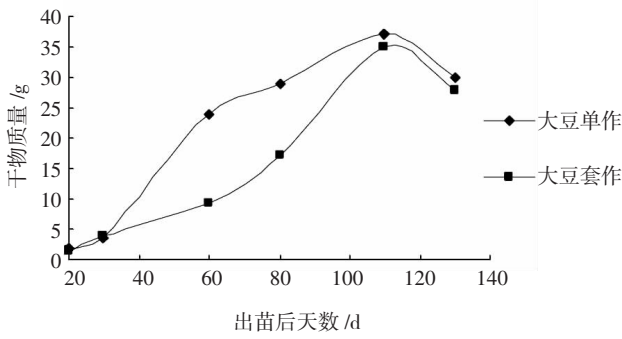


图2 单作及套作大豆干物质积累特点

慢。其次，在大豆生长后期，特别是8月份马铃薯收获后，大豆单作干物质积累相对变缓，而此时套作大豆生长加快，干物质积累进程加快，最终干物质接近大豆单作，说明马铃薯收获后，套作大豆的干物质积累和产量因马铃薯竞争导致的损失在很大程度上得到了补偿。

2.2 早熟马铃薯套作大豆产出效果分析

从表2可以看出，在早熟马铃薯套作大豆模式下，套作马铃薯的平均产量为38 806.67 kg/hm²，套作大豆平均产量为2 162.72 kg/hm²，较马铃薯单作、大豆单作平均产量42 360.78 kg/hm²、3 396.88 kg/hm²分别下降了8.39%、36.33%，薯豆套作模式产出效果较明显。马铃薯套作大豆可提高土地复种指数，提高土地利用率，具有良好的产出效果，

其单位面积产量间作当量比、产值间作当量比分别为1.53和1.49，即其单位面积产量、产值较单作分别提高了1.53倍和1.49倍。

2.3 马铃薯、大豆光合参数分析

对不同生育期马铃薯及大豆叶片光合参数的测定和分析的结果(表3)表明，在苗期，套作马铃薯与马铃薯单作的叶片光合速率、气孔导度、蒸腾速率及水分利用效率差异不显著，而套作大豆与大豆单作差异达到显著水平，套作大豆的叶片蒸腾速率、气孔导度、光合速率及水分利用效率(WUE)比单作分别下降了16.7%、27.0%、37.7%和14.8%，表明套作对大豆苗期产生了不利的影响，主要是由于马铃薯对套作大豆的遮蔽作用造成的。在花期，套作马铃薯的叶片蒸腾速率、气孔导度、光合速率及水分利用效率分别比单作降低了8.2%、20.4%、11.1%和3.4%，差异显著；套作大豆叶片蒸腾速率、气孔导度、光合速率分别比单作分别降低了45.4%、35.5%和28.1%，差异达显著水平。而水分利用效率(WUE)比单作提高了31.7%差异达显著水平。此时，马铃薯与大豆进入生殖生长共生期，两种作物对水肥的竞争强，套作大豆仍然处于劣势，如果这个时期水肥条件不足，就会影响套作马铃薯及套作大豆的光合生产。在成熟期，套作大豆比大豆单作仅下降了2.2%。马铃薯

表2 早熟马铃薯套作大豆产出效果定量分析^①

年份	种植方式	大豆产量/(kg/hm ²)	马铃薯产量/(kg/hm ²)	土地当量比/(LER)	间作当量比(IE)	
					产量间作当量比	产值间作当量比
2013	大豆单作	3 414.26 a				
	马铃薯单作		41 273.80 a			
	马铃薯/大豆	1 819.83 b	37 289.68 b	1.43	1.46	1.48
2014	大豆单作	3 468.61 a				
	马铃薯单作		40 928.31 a			
	马铃薯/大豆	2 333.32 b	38 294.70 b	1.60	1.64	1.54
2015	大豆单作	3 257.64 a				
	马铃薯单作		44 619.61 a			
	马铃薯/大豆	2 129.81 b	40 421.30 b	1.55	1.48	1.45
2016	大豆单作	3 447.02 a				
	马铃薯单作		42 621.37 a			
	马铃薯/大豆	2 367.94 b	39 221.38 b	1.59	1.57	1.52
平均		2 162.72	38 806.67	1.54	1.53	1.49

①同一列有相同字母表示处理间差异不显著(P≤0.05)，下同。

收获后,因大豆的恢复作用,使套作大豆的光合损失在很大程度上得到了补偿。

2.4 早熟马铃薯套作大豆对土壤微生物的影响

通过对定位第3年的马铃薯单作(连作)及套作马铃薯田土壤微生物的测定和分析(表4)表明,套作土壤中细菌、放线菌数量高于连作,差异达到显著水平,连作土壤中真菌数量显著高于套作处理。收获后,与连作相比,套作土壤细菌和放线菌数量相对于播种前,增加了 5.84×10^7 cfu/g、 5.35×10^6 cfu/g,分别比连作高 6.76%、63.11%。真菌的变化呈现相反的趋势,收获后与播种前相

比,套作土壤中的真菌数量比连作降低了 38.63%。

2.5 早熟马铃薯套作大豆对作物品质的影响

早熟马铃薯间套作大豆能改善大豆及马铃薯的部分品质指标。由表5可知,相对于单作,套作大豆粗蛋白含量提高 5.05%,脂肪含量下降了 3.50%,蛋脂总含量提高 2.37%。套作马铃薯粗淀粉含量及还原糖含量为 125.8、1.01 g/kg,相对于马铃薯单作分别下降了 8.31%、53.24%。由此可见薯豆套作能降低马铃薯粗淀粉含量,极显著降低马铃薯还原糖含量。同时套作马铃薯维生素C含量、粗蛋白含量相对于马铃薯单作,分别提高

表3 作物光合参数部分指标

生育期	种植方式	蒸腾速率 /[mmol/(m ² ·s)]	气孔导度 /[mmol/(m ² ·s)]	光合速率 /(μmol/s)	WUE ^① /(mmol CO ₂ /mmol H ₂ O)
苗期	大豆单作	3.34 a	0.12 a	7.91 a	2.37 a
	大豆套作	2.44 b	0.10 a	4.93 b	2.02 b
	马铃薯单作	5.59 a	0.18 a	14.60 a	2.61 a
	马铃薯套作	5.28 a	0.17 a	14.14 a	2.68 a
花期	大豆单作	5.50 a	0.31 a	15.61 a	2.84 b
	大豆套作	3.00 b	0.20 b	11.22 b	3.74 a
	马铃薯单作	5.60 a	0.44 a	23.26 a	4.16 a
	马铃薯套作	5.14 a	0.35 b	20.67 b	4.02 a
成熟期	大豆单作	3.16 a	0.27 a	12.80 a	4.06 a
	大豆套作	2.94 b	0.24 a	12.52 a	4.26 a
	马铃薯单作	3.25 a	0.18 a	14.75 a	4.53 a
	马铃薯套作	2.99 b	0.19 a	12.12 b	4.05 b

①水分利用效率(WUE)=光合速率/蒸腾速率。

表4 薯豆套作对土壤微生物数量的影响

种植方式	细菌/($\times 10^7$ cfu/g)		真菌/($\times 10^4$ cfu/g)		放线菌/($\times 10^6$ cfu/g)	
	播种前	收获后	播种前	收获后	播种前	收获后
薯豆套作	4.57 a	10.41 a	2.66 a	6.31 b	3.46 a	8.81 a
马铃薯连作	3.74 b	9.21 b	2.96 a	8.02 a	3.63 a	6.91 b

表5 薯豆套作对作物品质的影响

种植方式	粗蛋白 /(mg/kg)	脂肪 /(mg/kg)	蛋脂总量 /(mg/kg)	种植方式	干物质 /(g/kg)	粗淀粉 /(g/kg)	还原糖 /(g/kg)	维生素C /(mg/kg)	粗蛋白 /(mg/kg)	商品薯率 /%
大豆单作	42.53 b	19.45 a	61.98 a	马铃薯单作	189.8 b	137.2 a	2.16 a	146.5 b	21.3 b	78.4 a
大豆套作	44.68 a	18.77 a	63.45 a	马铃薯套作	212.9 a	125.8 b	1.01 b	171.5 a	24.6 a	81.1 a

了 17.06%、15.49%，差异达到显著水平。

2.6 早熟马铃薯套作大豆生态效益分析

西北沿黄灌区属于温带干旱、半干旱大陆性气候类型， $\geq 10\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的有效积温 3 244 $^{\circ}\text{C}$ ，年日照时数为 2 447.1 h，年自然降水量为 263.1 mm。由表 6 可以看出，薯豆套作模式的 4 个生态指标均最高，日照利用率比大豆单作和马铃薯单作分别提高 23.2% 和 38.5%， $\geq 10\text{ }^{\circ}\text{C}$ 温度利用率分别提高 11.0% 和 54.9%，绿色期降水利用率分别提高 7.9% 和 69.0%，地面覆盖期降水利用率分别提高 7.8% 和 63.4%。

表 6 不同种植方式的生态效益 %

种植方式	日照利用率	$\geq 10\text{ }^{\circ}\text{C}$ 温度利用率	绿色期降水利用率	地面覆盖期降水利用率
大豆单作	41.72 b	80.18 b	83.24 b	38.63 a
马铃薯单作	37.11 c	57.46 c	53.14 c	25.48 b
薯豆套作	51.40 a	88.99 a	89.81 a	41.64 a

观察发现，马铃薯单作及大豆单作行间地面光照充足，容易滋生各种杂草，尤其在作物灌水之后，杂草滋生迅速，严重危害作物的生长。因此每年都要花费大量的人工进行锄草或喷施除草剂，既增加成本，又对生态环境造成影响。早熟马铃薯间套作大豆，由于杂草减少，因此年锄草的人工相应减少，较马铃薯单作、大豆单作分别减少 800 元 / hm^2 、1 400 元 / hm^2 的锄草成本，较大地节约了生产成本(表 7)。

表 7 不同种植方式的杂草生长情况及锄草情况

种植方式	杂草数量 / (株 / m^2)	锄草次数 / 次	每次锄草费用 / (元 / hm^2)	锄草成本 / (元 / hm^2)
大豆单作	41.2 b	4	600	2 400
马铃薯单作	67.5 a	3	600	1 800
薯豆套作	29.7 c	2	500	1 000

3 小结与讨论

在我国马铃薯主粮化的背景下，由于比较效益高，产业链长等优势条件，马铃薯种植面积逐年增加。传统早熟马铃薯种植多为单作模式且种植密度稀疏，往往导致马铃薯在生育期内地上光热资源不能充分利用。另一方面马铃薯生育期内，地上枝叶覆盖面积小且时间短，易造成地面水分蒸发，不利于马铃薯块茎的形成。而薯豆套作模式则显著提高了日照利用率、 $\geq 10\text{ }^{\circ}\text{C}$ 温度利用率、

绿色期降水利用率及地面覆盖期利用率。尽管早熟马铃薯与大豆共生期长达 93 d，但是生殖生长的天数仅有 40 d，马铃薯收获后，套作大豆有充足的时间进行补偿生长，有利于其产量形成。以往的研究表明，马铃薯是喜钾作物，对土壤钾素的吸收量较大，同时对氮素吸收也较多，而豆科植物对磷素较敏感，二者复合种植可均衡吸收土壤中氮、磷、钾，提高土地利用率^[18-19]。本试验结果表明，早熟马铃薯套作大豆提高土地复种指数，提高土地利用率，具有良好的产出效果，其单位面积产量间作当量比、产值间作当量比分别为 1.53 和 1.49，即其单位面积产量、产值较单作提高了 1.53 倍和 1.49 倍。说明该模式既能促进该区主要粮食作物马铃薯高产，又增种一季大豆，提高了资源利用效率和土地生产率，增加了农民收入，从而实现了资源的可持续利用和农业的可持续发展。

马铃薯长期连作导致产量降低，品质下降^[20-23]，同时引起的土壤理化性状的改变，土壤中长期存留作物根系分泌物和残茬均可导致土壤微生物的变化，影响作物正常的生长。细菌、真菌、放线菌是土壤微生物的重要组成部分，它们能够促进植物残体的降解、腐殖质形成，在养分的转化与循环中起着十分重要的作用^[23]。马琨等^[22] 研究表明：马铃薯连作栽培显著提高了土壤微生物量碳 / 氮比，土壤细菌 / 真菌的比例和对照土壤相比，分别减少了 64.70%、9.18% ~ 32.11%，连作会使土壤微生物区系从细菌型转向真菌型。本试验研究表明，马铃薯套作大豆的土壤细菌和放线菌数量明显高于连作，真菌数量显著低于连作。说明薯豆套作模式有效改善了土壤微生物结构，在一定程度上能缓解马铃薯连作障碍。

马铃薯块茎鲜重的 24% 左右是干物质，以淀粉为主，另外，还包括还原糖、维生素 C 和蛋白质等物质。其中淀粉含量和还原糖含量作为马铃薯食用和工业加工原料而备受关注^[23]。以往的研究结果表明，马铃薯与豆类作物间套作能改善马铃薯的品质^[24-26]。本研究发现，马铃薯大豆套作能改善马铃薯的部分品质，其中能降低淀粉含量，极显著降低还原糖的含量，提高了维生素 C 和蛋白质含量，这一结论与已报到的结论一致。本试验结果还表明，薯豆套作对大豆蛋白质和脂肪含

量有一定程度的影响。

在西北沿黄灌区,早熟马铃薯套作大豆的模式显著提高了日照利用率、 $\geq 10\text{ }^{\circ}\text{C}$ 温度利用率、绿色期降水利用率及地面覆盖期利用率,有效改善土壤微生物结构,在一定程度上缓解了马铃薯连作障碍,还能改善马铃薯及大豆部分品质。该模式实现了土地、劳动力、土壤养分和水热资源在时间和空间上的集约化利用,具有提高土地产出量及可持续利用性的优势,适宜在该区域大面积示范推广,但还需进一步加强农机农艺配套的深入研究。

参考文献:

- [1] 陈光荣,杨文钰,张国宏,等. 薯豆套作模式下不同熟期大豆品种生长补偿效应[J]. 中国农业科学, 2016, 49(3): 455-467.
- [2] 吴开贤,安瞳昕,范志伟,等. 玉米与马铃薯的间作优势和种间关系对氮投入的响应[J]. 植物营养与肥料学报, 2012, 18: 31006-31012.
- [3] 王丽霞,陈源泉,李超,等. 不同滴灌制度对棉花/马铃薯模式中马铃薯产量和 WUE 的影响[J]. 作物学报, 2013, 39(10): 1864-1870.
- [4] SHARAIHA R K, BATTIKHI A. A study on potato/corn intercropping-microclimate modification and yield advantages[J]. Agric. Sci., 2002, 29(2): 97-108.
- [5] MIDMORE D J, BERRIOS D, ROCA J. Potato (Solanum spp.) in the hot tropics V. Intercropping with maize and the influence of shade on tuber yields[J]. Field Crops Res., 1988, 18: 159-176.
- [6] RK SHARAIHA A B. A Study on potato/corn intercropping microclimate modification and yield advantages[J]. Agric. Sci., 2002, 16: 97-109.
- [7] HE X H, ZHU S S, WANG H N. Crop diversity for ecological disease control in potato and maize[J]. Resour. Ecol., 2010, 1: 45-51.
- [8] 赵举,郑大玮,潘志华,等. 农牧交错带粮草带状间作防风蚀保土效应研究[J]. 华北农学报, 2005, 20(专辑): 5-9.
- [9] 陈智,麻硕士,范贵生,等. 麦薯带状间作农田地表土壤抗风蚀效应研究[J]. 农业工程学报, 2007, 23(3): 51-54.
- [10] 王玉庆,贺润喜. 固沙植物甘草与土地荒漠化探析[J]. 中国农业生态学报, 2004, 12(3): 194-195.
- [11] JEFWA J M, OKOTH S, WACHIRA P, et al. Impact of land use types and farming practices on occurrence of arbuscular mycorrhizal fungi (AMF) Taita-Taveta district in Kenya[J]. Agriculture, Ecosystems and Environment, 2012(157): 32-39.
- [12] MIRITI J.M, KIRONCHI G, ESILABA A.O, et al. Yield and water use efficiencies of maize and cowpea as affected by tillage and cropping systems in sem-arid Eastern Kenya[J]. Agricultural Water Management. 2012(115): 148-155.
- [13] 宋亚娜, PETER M, 张福锁, 等. 小麦/蚕豆, 玉米/蚕豆和小麦/玉米间作对根际细菌群落结构的影响[J]. 生态学报, 2006, 26(7): 2268-2274.
- [14] 柴强,黄鹏,黄高宝. 间作对根际土壤微生物和酶活性的影响研究[J]. 草业学报, 2005, 14(5): 105-110.
- [15] 苏世鸣,任丽轩,霍振华,等. 西瓜与旱作水稻间作改善西瓜连作障碍及对土壤微生物区系的影响[J]. 中国农业科学, 2008, 41(3): 704-712.
- [16] 曹国璠,张荣达,胡建风,等. 马铃薯高产高效间套作种植模式研究[J]. 水土保持学报, 2003(2): 149-151.
- [17] 陈光荣,张国宏,王立明,等. 西北沿黄灌区不同作物间套作大豆产出效果分析[J]. 大豆科学, 2013(5): 614-619.
- [18] 王海燕,王晓玲. 马铃薯间作蚕豆的效益评价与栽培研究[J]. 内蒙古农业科技, 2007(3): 37-39.
- [19] BETENCOURT E, DUPUTEL M, COLOMB B, et al. Intercropping promotes the ability of durum wheat and chickpea to increase rhizosphere phosphorus availability in a low P soil. Soil Biology & Biochemistry, 2012, 46: 181-190.
- [20] 杨文钰,雍大文,张国宏,等. 西北发展套作大豆大有可为[J]. 大豆科技, 2010(49): 49-50.
- [21] 朱英,孙权,李建设,等. 宁夏马铃薯连作障碍机理及防治途径[J]. 农业科学研究, 2013(2): 85-88.
- [22] 马琨,张丽,杜茜,等. 马铃薯连作栽培对土壤微生物群落的影响[J]. 水土保持学报, 2010(4): 229-233.
- [23] HOU X Y, WANG F X, HAN J J, et al. Duration of plastic mulch for potato growth under drip irrigation in arid region of Northwest China[J]. Agricultural and Forest Meteorology, 2010, 150: 115-121.
- [24] 李萍,张永成,田丰. 马铃薯蚕豆间套作边行效应对马铃薯块茎品质影响研究[J]. 作物研究, 2012(5): 471-473.
- [25] 杨友琼,吴伯志. 作物间套种植方式间作效应研究[J]. 中国农学通报, 2007(11): 192-196.
- [26] 宁堂原,焦念元,安艳艳,等. 间套作资源集约利用及对产量品质影响研究进展[J]. 中国农学通报, 2007(4): 159-163.

(本文责编:郑立龙)