中图分类号：S532　　文献标识码：A　　文章编号：1672－3635(2020)04-0214-06

栽培生理

马铃薯耕作方式对土壤微生物数量的影响

宋　钰[1]，李统华[1]，金梦军[1]，杨成德[1*]，张俊莲[2]

（1. 甘肃农业大学植物保护学院/甘肃省农作物病虫害生物防治工程实验室，甘肃　兰州　730070；
2. 甘肃省作物遗传改良与种质创新重点实验室，甘肃　兰州　730070）

摘　要：马铃薯生产中轮作、休耕和深耕有利于改善土壤质量，提高马铃薯产量。为明确马铃薯耕作方式对土壤微生物的影响，采用平板分离法对马铃薯不同种植方式下土壤真菌、细菌和放线菌数量进行测定。休耕模式下土层0~15，15~30和30~45 cm真菌数量分别为11.00×10^2，5.40×10^2和3.73×10^2 CFU/g，高于相应土层中其他耕作模式。连作中0~15，15~30和30~45 cm土层的放线菌数分别为3.87×10^4，2.42×10^4和2.21×10^4 CFU/g，细菌数量分别为77.68×10^4，33.13×10^4和18.92×10^4 CFU/g，均高于轮作和休耕的相应土层。马铃薯-玉米-马铃薯、马铃薯-藜麦-马铃薯和马铃薯-马铃薯-马铃薯耕作方式下随着土层加深，真菌、放线菌及细菌的数量均逐渐减少。休耕中真菌和细菌数量随着土层加深而减少，但放线菌在15~30 cm中数量最多，达2.39×10^4 CFU/g。该结果为制定合理的马铃薯耕作模式提供了依据。

关键词：马铃薯；耕作方式；土壤微生物；变化

Effects of Different Rotation Modes of Potato on Soil Microbial Number

SONG Yu[1], LI Tonghua[1], JIN Mengjun[1], YANG Chengde[1*], ZHANG Junlian[2]

(1. College of Plant Protection, Gansu Agricultural University/Biocontrol Engineering Laboratory of Crop Diseases and Pests of Gansu Province, Lanzhou, Gansu 730070, China; 2. Gansu Provincial Key Laboratory of Crop Genetic Improvement and Germplasm Innovation, Lanzhou, Gansu 730070, China)

Abstract: Rotation, fallow and deep cultivation in potato production are conducive to improving soil quality and potato yield. In order to clarify the effects of potato cultivation methods on soil microorganisms, the number of soil fungi, bacteria and actinomycetes under different potato planting methods were determined through plate isolation method. The number of fungi was 11.00×10^2, 5.40×10^2 and 3.73×10^2 CFU/g in 0-15, 15-30 and 30-45 cm soils under fallow mode, respectively, which was higher than that in the corresponding soil layer of other treatments. The number of actinomycetes was 3.87×10^4, 2.42×10^4 and 2.21×10^4 CFU/g in 0-15, 15-30 and 30-45 cm soil layers in continuous cropping, respectively, and the number of bacteria was 77.68×10^4, 33.13×10^4 and 18.92×10^4 CFU/g, both higher than that of the corresponding soil layers of rotation and fallow treatments. Under potato-corn-potato, potato-quinoa-potato and potato-potato-potato farming modes, the number of fungi, actinomycetes and bacteria gradually decreased as the soil layer deepens. The number of fungi and bacteria in fallow mode decreased with the deepening of the soil layer, but the number of actinomycetes was the most in 15-30 cm, reaching 2.39×10^4 CFU/g. The results provide a basis for developing a reasonable potato rotation mode.

Key Words: potato; rotation mode; soil microbes; change

收稿日期：2019-11-28
基金项目：国家马铃薯产业技术体系项目(CARS-10-P18)。
作者简介：宋钰(1995-)，女，硕士研究生，研究方向为植物病理学。
***通信作者**(Corresponding author)：杨成德，教授，博士生导师，研究方向为植物病害及微生物资源，E-mail: yangcd@gsau.edu.cn。

(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

马铃薯(*Solanum tuberosum* L.)又称洋芋、土豆等，是世界上仅次于水稻(*Oryza sativa* L.)、小麦(*Triticum aestivum* L.)和玉米(*Zea mays* L.)的第四大粮食作物[1,2]，另外，马铃薯也是重要的饲料之一，如马铃薯秧及块茎均可加工为饲料或饲料添加剂。目前有156个国家和地区种植马铃薯，中国是世界上主要种植基地[3]。甘肃省是中国的马铃薯种植大省，2016年种植面积68.42万hm^2，产量达1 130.35万t，产量和面积均居全国第3位，已成为全国马铃薯种薯、商品薯生产及加工基地，全省农民每年人均从马铃薯产业中获得纯收入228元，占农民人均纯收入的19.3%[4]，是甘肃省许多县(区)脱贫致富的“金蛋蛋”。由于马铃薯所产生的经济利益，致使马铃薯生产中普遍存在连茬或不合理轮作现象，引起土壤有害微生物增多、盐渍化加重、养分比例失调等问题[5-7]，导致马铃薯产量下降、品质变劣等连作障碍，并且该现象逐年加重，严重威胁粮食安全[8]。近年来，利用生物间相互协同，相互抑制的原理，合理安排作物轮、套、间作制度，已成为有机农业发展、农田生态系统保护和可持续发展的研究热点之一。研究表明，紫花苜蓿(*Medicago sativa* L.)、小麦和玉米轮作能显著影响土壤微生物组成、降低自毒物质含量有效改善土壤环境[9]；小麦与油菜(*Brassica napus* L.)、马铃薯、蚕豆(*Vicia faba* L.)轮作2年或以上能有效降低小麦禾谷孢囊线虫(*Heterodera avenae*)种群密度[10]；小麦-豌豆(*Pisum sativum* L.)-马铃薯轮作后，微生物总量有不同程度的升高，真菌数量显著降低，土壤中的放线菌、细菌数量最高[11]。甘肃省白银市景泰县条山农场处于半漠区，以灌溉农业为主，在这种特殊的地理环境条件下不同种植模式对土壤微生物有怎么样的影响？目前未有相关文献报道。因此，该试验在条山农场选择试验地，研究马铃薯与不同作物轮作、马铃薯连作及轮休方式下土壤微生物数量的变化，旨在揭示马铃薯种植方式对土壤微生物的影响，以期为制定合理的栽培模式及恢复地力提供理论依据。

1　材料与方法

1.1　试验区概况

试验区位于甘肃省中部引黄灌区的条山农场，位于N 103°33'~104°43'，E 36°43'~ 37°38'，海拔1 274~3 321 m，是典型的温带大陆干旱气候，年平均气温9.1℃，无霜期在141 d左右[12]。年平均降水量193.72 mm，年平均蒸发量1 722.8 mm。年平均日照时数2 713 h，全县光热资源丰富，日照百分率62%，太阳年平均辐射量147.8 Kcal/m^2，≥0 ℃活动积温3 614.8℃，≥10℃有效积温3 038℃[13]，是中国光热资源最丰富的地区之一。试验地土壤为灰钙土，质地为砂壤。

1.2　试验材料

供试马铃薯品种为‘大西洋’(原种)，玉米品种为‘正德305’，藜麦(*Chenopodium quinoa* W.) 品种为‘条藜2号’。

1.3　试验方法

于2017年在条山农场前茬为马铃薯的田块分别种植玉米、藜麦和马铃薯，2018年在种植玉米、藜麦和马铃薯的田块上继续种植马铃薯，形成马铃薯-玉米-马铃薯轮作、马铃薯-藜麦-马铃薯轮作、马铃薯-马铃薯-马铃薯和休耕(3年不种植任何农作物，处于自然状态)4个处理，3次重复，小区面积30 m^2，试验采用随机区组设计。马铃薯播种株距35 cm，垄宽20 cm，垄行距40 cm，播种密度约为56 250株/hm^2；玉米定苗后的密度约为60 000株/hm^2；藜麦播种密度为6 kg/hm^2[14]。采用相同的施肥措施和大田管理方法，将土壤含水量控制在适宜范围内。

1.4　测定指标与方法

1.4.1　土样采集

试验设马铃薯-玉米-马铃薯轮作、马铃薯-藜麦-马铃薯轮作、马铃薯-马铃薯-马铃薯和休耕4个处理，分别在9月25日马铃薯成熟期采用5点取样法采集0~15，15~30和30~45 cm三个不同土层的土壤样品，将各点土样混合，按四分法除去多余土样，过1 mm筛，留1 kg左右装入无菌聚乙烯袋，带回实验室后立即用于微生物数量的测定。

1.4.2　微生物数量分离与测定

采用平板稀释法分离不同土壤样品中的真菌、放线菌和细菌。称取土壤鲜样1 g，于无菌条件下用无菌水配成不同浓度梯度悬浮液，取100 μL稀释液进行平板涂布；培养基分别为马丁-孟加拉红培养基、改良‘高氏1号’培养基及牛肉膏蛋白胨培

(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

养基；稀释浓度分别为：真菌1×10^{-1}和1×10^{-2}，放线菌1×10^{-2}和1×10^{-3}，细菌1×10^{-3}和1×10^{-4}；培养时间及温度：真菌25℃恒温培养5~7 d，放线菌28 ℃恒温培养7~10 d，细菌28℃恒温培养3 d；统计菌落数，并按公式计算菌落数[15]，公式如下：

活菌数(CFU/g) = (菌落平均数 × 稀释倍数)/ 干土%

1.5　数据处理

采用 Excel 2007进行数据统计。

2　结果与分析

2.1　不同耕作方式对真菌数量的影响

土壤真菌主要分布于0~15 cm土层中，休耕一年土壤中真菌数量最多，马铃薯连作土壤中真菌数量最少；随着土壤深度增加，真菌数量降低(图1)。

马铃薯-玉米-马铃薯轮作时，0~15 cm土层中真菌数量最多，菌落数为7.43×10^2 CFU/g，随着土层加深，真菌数量逐渐减少；与0~15 cm土层中真菌数相比，15~30 cm的土层中真菌数量减少了50.20%，30~45 cm土层中真菌数量减少了91.92%。马铃薯-藜麦-马铃薯轮作时，0~15 cm的土层中真菌数量高于其他土层真菌数量，菌落数为7.40×10^2 CFU/g，随着土层加深，真菌数量逐渐减少，但15~30和30~45 cm土层的菌量相差较小，分别为1.63×10^2和1.05×10^2 CFU/g；与0~15 cm的土层中真菌数相比，15~30和30~45 cm的土层中真菌数分别减少了77.97%和85.81%。马铃薯-马铃薯-马铃薯连作时，0~15 cm土层中真菌数量高于其他土层真菌数量，菌落数为4.15×10^2 CFU/g，随土层深度的增加真菌数量减少。与0~15 cm土层中真菌数相比，15~30和30~45 cm土层中真菌数分别减少了10.84%和60.72%。休耕一年时，0~15 cm土层中真菌数量高于其他土层真菌数量，菌落数为11.00×10^2 CFU/g，随土层深度的增加真菌数量减少。与0~15 cm土层中真菌数相比，15~30和30~45 cm土层中真菌数分别减少了50.90%和66.09%。

由此结果知不同耕作方式间相同土层真菌数量不同，但0~15，15~30和30~45 cm土层中休耕真菌数量高于其他耕作方式，菌落数分别为11.00×10^2，5.40×10^2和3.73×10^2 CFU/g。连作土壤表层真菌数量最低可能是土壤中有益真菌减少造成了差异。

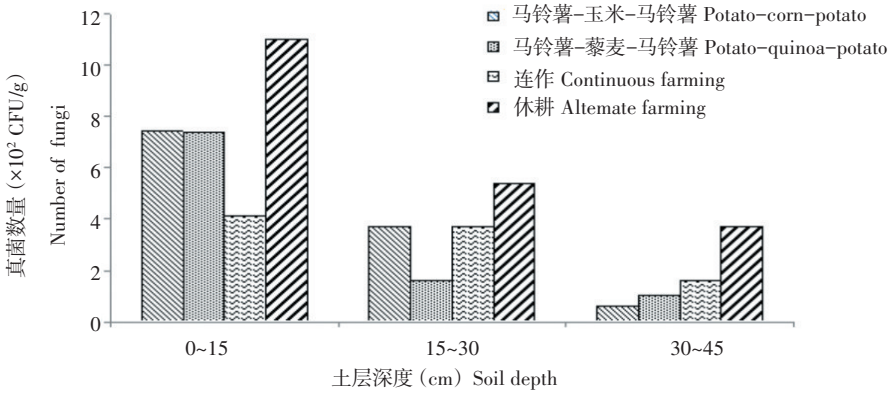

图1　马铃薯耕作方式对土壤真菌数量的影响

Figure 1　Effects of potato farming methods on number of soil fungi

2.2　不同耕作方式对放线菌数量的影响

不同耕作方式下放线菌数量均表现为0~15 cm土层最多，且随土层加深数量降低，其中马铃薯-玉米-马铃薯轮作、马铃薯-藜麦-马铃薯轮作和马铃薯-马铃薯-马铃薯连作时0~15 cm土层放线菌菌落数分别为1.77×10^4，2.35×10^4和3.87×10^4 CFU/g，30~45 cm土层较0~15 cm土层分别下降了28.25%，57.45%和42.89%(图2)。

休耕处理下，15~30 cm土层中放线菌数量最多，达2.39×10^4 CFU/g，与15~30 cm土层中放线菌数量相比较，0~15 cm土层中放线菌数降低了6.69%，30~45 cm土层中放线菌数降低了57.32%。

(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

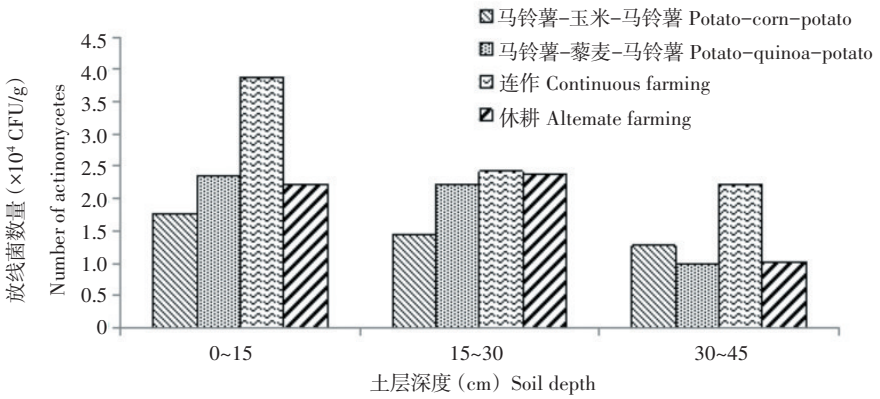

图2　马铃薯耕作方式对土壤放线菌数量的影响

Figure 2　Effects of potato farming methods on number of soil actinomycetes

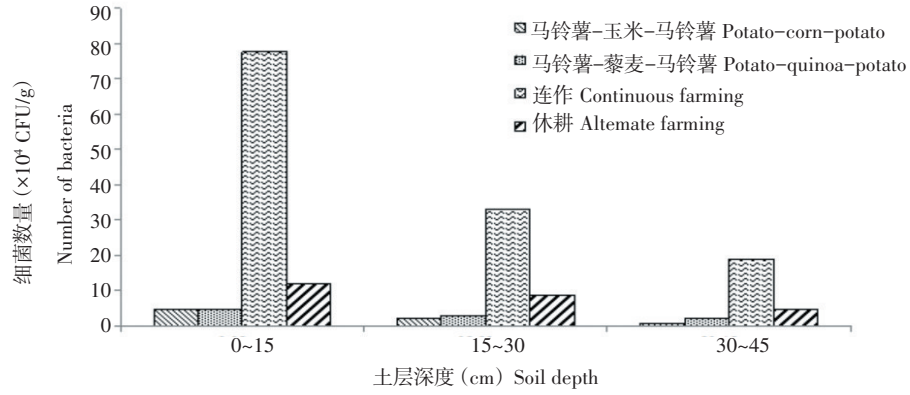

图3　马铃薯耕作方式对土壤细菌数量的影响

Figure 3　Effects of potato farming methods on number of soil bacteria

马铃薯–马铃薯–马铃薯耕作方式中放线菌数量高于其他耕作方式，0~15、15~30和30~45 cm土层中菌落数分别为3.87×10⁴，2.42×10⁴和2.21×10⁴ CFU/g，且在0~15和15~30 cm土层中马铃薯–玉米–马铃薯轮作时放线菌数量最低。

2.3　不同耕作方式对细菌数量的影响

土壤细菌主要分布于0~15 cm土层中，马铃薯–马铃薯–马铃薯连作模式中土壤细菌数量最多，马铃薯–藜麦–马铃薯轮作和马铃薯–玉米–马铃薯轮作模式中土壤细菌数最少；随着土壤深度加深细菌数量逐渐减少(图3)。

马铃薯–玉米–马铃薯轮作时，0~15 cm土层中细菌数量最多，菌落数为4.63×10⁴ CFU/g，随着土层加深，细菌数量逐渐减少；与0~15 cm土层中细菌数相比，15~30和30~45 cm土层中细菌数分别下降了57.45%和85.96%。马铃薯–藜麦–马铃薯轮作时，0~15 cm土层中细菌数量最多，达4.63×10⁴ CFU/g，15~30和30~45 cm土层较0~15 cm土层分别减少了34.77%和56.80%。马铃薯–马铃薯–马铃薯连作时，0~15 cm土层中细菌数量最多，达77.68×10⁴ CFU/g；与0~15 cm土层中细菌数量相比，15~30 cm土层中细菌数减少了57.35%，30~45 cm土层中细菌数减少了75.64%。休耕一年时，0~15 cm土层中细菌数量高于其他土层，达11.92×10⁴ CFU/g，15~30和30~45 cm土层中细菌数分别减少了27.43%和59.48%。

相同土层中细菌数量在不同耕作方式下不同，其中0~15，15~30和30~45 cm土层中均为马铃薯–

(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

马铃薯–马铃薯连作细菌数量高于其他耕作方式，菌落数分别达77.68×10^4，33.13×10^{4}和18.92×10^4 CFU/g，其次为休耕方式。

3　讨　论

土壤微生物参与土壤养分转化、循环以及土壤有机质的分解和矿质营养的释放等[16,17]，是促进物质循环的原动力，是土壤质量的生物学指标之一。因此，研究土壤微生物数量是明确耕作方式优劣的途径之一。不同耕作方式下不同土层中微生物群落对研究作物种植模式意义重大，李桂喜等[18]报道土壤微生物数量在不同耕作方式下随着土层深度的增加而明显降低；唐超等[19]报道连作番茄保护地土壤0~20 cm土层微生物含量最高，随着土层加深呈下降趋势；王桂红等[20]报道玉米和牧草典型种植模式下随着土层加深土壤微生物量呈下降趋势。本研究发现，在不同耕作方式中，除轮休中放线菌在15~30 cm中较大外，在其他种植轮作方式下，真菌、放线菌及细菌均随着土层深度增加菌落数呈下降趋势，与文献报道一致。谭雪莲等[21]报道土壤中细菌和放线菌数量随马铃薯连作年限的增加呈下降趋势，真菌呈上升趋势；倪苗等[22]报道以豇豆为主茬，分别轮作苋菜、蕹菜、菜薹、芥菜或大白菜，提高了土壤细菌群落的丰度和真菌群落的多样性；姚小东等[23]报道连作种植模式有利于病原真菌在根表定殖，抑制了有益细菌的生长；王悦等[24]报道轮作和套作可以提高根际细菌群落多样性，改变微生物群落组成。本文研究表明，4种耕作方式中，休耕各个土层的真菌数量大于其他耕作方式下各土层的真菌数量，马铃薯连作下各土层中的细菌和放线菌均大于其他种植方式，这与谭雪莲等[21]和倪苗等[22]的研究结果有差异，可能与种植的作物、轮作方式及土壤等有一定关系，但具体原因有待进一步研究。

[参 考 文 献]

[1] 刘羽, 刘富强, 李文刚, 等. 微肥对马铃薯产量、品质、薯皮超微结构及块茎耐贮性的影响 [J]. 中国马铃薯, 2018, 32(6): 351–357.

[2] Tsrorl L, Erlich O, Hazanovsky M. Effect of *Colletotrichum coccodes* on potato yield, tuber quality, and stem colonization during spring and autumn [J]. Plant Disease, 1999, 83(6): 561–565.

[3] 张建平, 刘佳, 哈斯, 等. 马铃薯疮痂病菌(*Streptomyces* spp.)的鉴定 [J]. 中国马铃薯, 2018, 32(5): 308–314.

[4] 魏胜文, 乔德华, 张东伟, 等. 甘肃农业科技绿皮书–甘肃农业科技发展研究报告 [M]. 北京: 社会科学文献出版社, 2016: 332–346.

[5] 张萌, 罗其友, 高明杰, 等. 马铃薯市场研究进展及展望 [J]. 中国马铃薯, 2017, 31(2): 113–118.

[6] 郑良永, 胡剑非, 林昌华, 等. 作物连作障碍的产生及防治 [J]. 热带农业科学, 2005, 25(2): 58–62.

[7] 刘国顺, 罗贞宝, 王岩, 等. 绿肥翻压对烟田土壤理化性状及土壤微生物量的影响 [J]. 水土保持学报, 2006, 20(1): 95–98.

[8] 曹莉, 秦舒浩, 张俊莲, 等. 轮作豆科牧草对连作马铃薯田土壤微生物菌群及酶活性的影响 [J]. 草业学报, 2013, 22(3): 139–145.

[9] 尹国丽, 蔡卓山, 陶茸, 等. 不同草田轮作方式对土壤肥力、微生物数量及自毒物质含量的影响 [J]. 草业学报, 2019, 28(3): 42–50.

[10] 侯生英, 马麟, 张贵, 等. 不同轮作模式下小麦禾谷孢囊线虫的发生动态和种群密度 [J]. 植物保护, 2017, 43(5): 180–188.

[11] 王丽红, 郭晓冬, 谭雪莲, 等. 不同轮作方式对马铃薯土壤酶活性及微生物数量的影响 [J]. 干旱地区农业研究, 2016, 34(5): 109–113.

[12] 闫士朋, 焦润安, 张俊莲, 等. 灌溉量对马铃薯生理特性及块茎产量品质的影响 [J]. 干旱地区农业研究, 2019, 37(3): 41–51.

[13] 闫士朋, 焦润安, 李朝周, 等. 灌溉量和灌溉时期对马铃薯(*Solanum tuberosum*)同化物分配的影响 [J]. 中国沙漠, 2019, 39(4): 35–45.

[14] 宋佳承, 王天, 闫士朋, 等. 不同种植模式对土壤质量及马铃薯生长的影响 [J/OL]. 土壤学报, 1–12 [2019–11–03]. http://kns.cnki.net/kcms/detail/32.1119.P.20190531.1012.004.html.

[15] 许光辉, 郑洪元. 土壤微生物分析方法手册 [M]. 北京: 农业出版社, 1986.

[16] Baldock J A. Role of the soil matrix and minerals in protecting natural organic materials against biological attack [J]. Organic Geochemistry, 2000, 31(7/8): 697–710.

[17] Rutigliano F A, Ascoli R D, Virzo De Santo A. Soil microbial metabolism and nutrient status in a Mediterranean area as affected by plant cover [J]. Soil Biology and Biochemistry, 2004, 36(11):

(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

1719−1729.

[18] 李桂喜, 董存元, 陈希元, 等. 不同耕作方式对土壤微生物数量的影响 [J]. 湖北农业科学, 2012, 51(17): 3713−3715.

[19] 唐超, 刘润进, 刘永举, 等. 连作番茄保护地土壤微生物数量的时空变化 [J]. 安徽农业科学, 2012, 40(36): 17581−17583, 17622.

[20] 王桂红, 何寻阳, 苏以荣, 等. 玉米和牧草典型种植模式下不同土层中土壤微生物量分布差异的研究 [J]. 山地农业生物学报, 2018, 37(4): 51−57, 65.

[21] 谭雪莲, 郭晓冬, 马明生, 等. 连作对马铃薯土壤微生物区系和产量的影响 [J]. 核农学报, 2012, 26(9): 1322−1325.

[22] 倪苗, 成善汉, 韩旭, 等. 轮作不同叶菜对连作豇豆土壤养分及微生物特性的影响 [J]. 中国蔬菜, 2019(5): 64−69.

[23] 姚小东, 李孝刚, 丁昌峰, 等. 连作和轮作模式下花生土壤微生物群落不同微域分布特征 [J]. 土壤学报, 2019, 56(4): 975−985.

[24] 王悦, 杨贝贝, 王浩, 等. 不同种植模式下丹参根际土壤微生物群落结构变化 [J]. 生态学报, 2019, 39(13): 4832−4843.

金黎平会长荣获“全国创新争先奖”

2020年5月30日，第二届“全国创新争先奖”表彰奖励大会在北京隆重举行。中国作物学会马铃薯专业委员会金黎平会长荣获“全国创新争先奖”奖章。全国创新争先奖由中国科协和人力资源社会保障部、科技部、国务院国资委共同设立，表彰在基础研究和前沿探索、重大装备和工程攻关、成果转化和创新创业、科普及社会服务等方面作出卓越贡献的优秀科技工作者和优秀团队，是仅次于国家最高科技奖的一个科技人才大奖。

金黎平会长从事马铃薯资源改良、遗传育种和脱毒种薯生产技术研究30余年，带领团队育成了30余个马铃薯品种，在全国范围内推广应用。特别是在早熟优质多抗马铃薯新品种选育领域成果卓著，创制了一大批突破性育种材料，极大地丰富了我国马铃薯种质资源；育成以‘中薯3号’和‘中薯5号’为代表的早熟优质多抗马铃薯品种，扩大了我国早熟马铃薯品种的种植区域，实现了早熟马铃薯品种更新换代。她带领科研团队完成的“早熟优质多抗马铃薯新品种选育与应用”成果，2017年获得国家科技进步奖二等奖。

金黎平会长常年致力于马铃薯产业扶贫，足迹遍布集中连片特困区和“三区三州”深度贫困区的马铃薯主产县，为当地制订产业发展规划、提供政策建议、建立研发基地、示范推广新品种新技术和培养人才。近三年间，她组织带领国家马铃薯产业技术体系专家在连片特困区开展了200多项试验示范，累计示范推广新品种新技术500多万亩、进行技术培训和指导1 982次，发放技术资料174 590份。产业扶贫成效显著，真正将“土豆豆”变成“金蛋蛋”，大幅度提高了农民收入。

金黎平会长从1998年开始，一直坚持捐资捐物、助学帮困。在江西九江、四川北川、广西大化和宁夏西吉等地捐书捐物助学扶贫，定向资助的宁夏学生中有3名考上大学。2017年，金黎平会长捐赠了毕节市政府给予其个人的专家工作补助50万元，与毕节市政府共同成立100万元的“毕节慈善总会金黎平·毕节助学基金”，用于资助毕节地区农村贫困家庭的在校学生。

金黎平会长因为贡献突出，曾获“全国农业科研杰出人才”“全国优秀农业科技专家”“国际块根块茎类作物学会终身成就奖”“全国巾帼建功标兵”等诸多荣誉，2019年她又获“全国脱贫攻坚奖创新奖”和中共中央、国务院、中央军委联合颁发的庆祝中华人民共和国成立70周年纪念章，在国庆70周年游行的“乡村振兴”彩车上参加了国庆庆典活动。

(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net