

DOI: 10.3724/SP.J.1006.2014.01452

轮作豆科植物对马铃薯连作田土壤速效养分及理化性质的影响

秦舒浩^{1,2} 曹莉^{1,2} 张俊莲¹ 师尚礼³ 王蒂¹

¹甘肃省作物遗传改良与种质创新重点实验室 / 甘肃农业大学园艺学院, 甘肃兰州 730070; ²甘肃省干旱生境作物学重点实验室, 甘肃兰州 730070; ³草业生态系统教育部重点实验室, 甘肃兰州 730070

摘 要: 合理轮作天蓝苜蓿(*Medicago lupulina* L.)、陇东苜蓿(*Medicago sativa* L.)和箭筈豌豆(*Vicia sativa* L.) 3 种豆科植物对马铃薯连作田土壤速效氮、速效磷及速效钾含量有不同程度的促进作用。对于马铃薯 2 年以上连作田, 轮作 3 种豆科植物均能起到提高土壤氮素有效性的作用, 速效氮含量最高提高 476%, 且可显著提高 3 年以上连作田速效磷含量, 增幅最高可达 207%。对于 3~4 年连作田, 轮作天蓝苜蓿可提高土壤速效钾含量, 其他连作年限及轮作箭筈豌豆和陇东苜蓿均没有提高土壤速效钾含量。轮作豆科植物后, 不同连作年限马铃薯连作田土壤电导率值均显著下降, 与对照相比, 土壤的电导率值最大降低 69.7%, 说明实施马铃薯-豆科植物轮作对防止马铃薯连作田土壤盐渍化有显著效果。轮作豆科植物使连作田土壤脲酶、碱性磷酸酶和过氧化氢酶活性均显著提高。从第 2 年连作开始, 轮作豆科植物对后茬马铃薯产量产生明显影响, 第 3~4 年连作期间, 轮作天蓝苜蓿和箭筈豌豆对后茬马铃薯增产效果较明显。

关键词: 马铃薯连作田; 轮作豆科植物; 土壤速效养分; 土壤电导率; 土壤酶活性

Effect of Rotation of Leguminous Plants on Soil Available Nutrients and Physical and Chemical Properties in Continuous Cropping Potato Field

QIN Shu-Hao^{1,2}, CAO Li^{1,2}, ZHANG Jun-Lian¹, SHI Shang-Li³, and WANG Di¹

¹Gansu Key Laboratory of Crop Genetic & Germplasm Enhancement / College of Horticulture, Gansu Agricultural University, Lanzhou 730070, China; ²Gansu Key Laboratory of Arid land Crop Science, Lanzhou 730070, China; ³Key Laboratory of Grassland Ecology System, Ministry of Education, Lanzhou 730070, China

Abstract: Soil available nitrogen, soil available phosphorus and soil available potassium contents were improved to some extent by the rotation of *Medicago lupulina*, Longdong alfalfa (*Medicago sativa*) and common vetch (*Vicia sativa*). Soil available nitrogen content was greatly increased for 2 or more -year continuous cropping field by the rotation of the three leguminous plants, and the maximum increase reached 476%. Soil available phosphorus content was greatly increased for 3 or more-year continuous cropping field by the rotation of *Medicago lupulina* L. and *Medicago sativa* L., and the maximum increase was 207%. Soil available potassium content was increased for 3–4 year continuous cropping field by the rotation of *Medicago lupulina*, which was not observed for other continuous cropping fields under the rotation of *Vicia sativa* and *Medicago sativa*. Soil conductivity was significantly decreased by the rotation of three leguminous plants, with the maximum decrease of 69.7% compared with control. This result indicated soil salinization for continuous cropping field could be prevented effectively by practicing the rotation of leguminous plants. Moreover, the activities of urease, alkaline phosphatase and hydrogen peroxidase were significantly increased by practicing leguminous plants rotation. The significant effects of rotation of leguminous plants on next-cropping-potato yield were observed from the second year of potato continuous cropping. And during the third to fourth years of potato continuous cropping, potato yield was increased by the rotation of *Medicago lupulina* and common vetch.

Keywords: Potato continuous cropping field; Rotation leguminous plants; Soil available nutrients; Soil conductivity; Soil enzyme activity

甘肃陇中旱农区属于黄土高原西部沟壑区, 该区降雨稀少且热量不足, 使马铃薯-玉米轮作种植模

本研究由中国博士后科学基金项目(2012M512042), 中国博士后科学基金特别资助项目(2014T70942), 国家自然科学基金项目(31260311)和教育部科学研究重点项目(212185)资助。

第一作者联系方式: E-mail: qinsh@gsau.edu.cn

Received(收稿日期): 2013-11-18; Accepted(接受日期): 2014-04-16; Published online(网络出版日期): 2014-06-03.

URL: <http://www.cnki.net/kcms/detail/11.1809.S.20140603.1551.006.html>

式难以实现,加之受土地总面积的制约,陇中半干旱区优势作物马铃薯连作种植在生产中比较普遍。有研究表明,长期连作导致土壤肥力下降,根系分泌物的自毒作用增强,病原微生物数量增加,致使作物产量降低^[1-2];马铃薯连作会导致土壤理化性状恶化,土壤微生物区系发生变化,土壤微生物活力下降,土壤养分亏缺加重,从而影响作物对土壤养分的吸收利用;土壤养分亏缺、失调,又会影响马铃薯的品质,并且导致马铃薯产量下降^[3-6]。土壤酶的主要来源是土壤微生物及土壤原生动物的分泌物^[7],直接参与土壤物质和能量的转化^[8]。另有研究表明,随着连作年限的增加,土壤碱性磷酸酶、蔗糖酶和脲酶活性逐渐降低^[9],土壤酶活性下降,土壤有效养分含量降低,是造成大豆连作障碍而引起产量下降的原因之一^[10]。随着马铃薯连作种植而产生的问题日益突出,探索如何通过有效和科学途径降低马铃薯连作障碍及自毒作用,进而提高马铃薯产量和品质已刻不容缓。合理轮作是防止土壤连作障碍发生的最佳途径,其中草田轮作是我国耕作制度的一种古老而有效的方法^[11]。轮作可以最大限度地提高土地生产力和作物的质量以及纯收益,而且对环境的负面影响最小^[12]。Carter 等^[13]的研究表明,轮作时间、轮作方式及马铃薯的种植频率与土壤有机质动态变化和土壤健康密切相关。在加拿大,被公认的有机马铃薯生产系统中,最突出特点就是延长轮作时间,并且使用豆科作物覆盖来补充马铃薯对氮素的需求^[14]。Ojaghian 等^[15]通过对甘蓝-马铃

薯轮作模式研究发现,此轮作方式可以明显降低马铃薯的发病率和植株的死亡率。目前,有关马铃薯-豆科植物轮作对不同年限连作田土壤质量方面的影响还鲜有报道。本研究旨在为进一步提高半干旱区马铃薯产量、维持土壤健康和农田可持续生产及改善连作马铃薯田土壤质量提供新的方法。

1 材料与方法

1.1 试验设计

本试验在甘肃省定西市甘肃农业大学综合试验站进行,该试验站主要开展马铃薯抗旱栽培、品种选育及示范等方面的试验研究,具有实施马铃薯连作试验的多年连作田。本试验选取马铃薯 1~4 年和 7 年的 5 种连作田,于马铃薯收获后实施马铃薯-豆科植物轮作,对每一连作年限马铃薯田均种植箭筈豌豆、天蓝苜蓿和陇东苜蓿 3 种豆科植物,连作年限与植物种类完全组合,共 15 个处理,每个处理设 3 次重复。试验中未施用肥料。于 2012 年 4 月种植豆科植物,播种量分别为陇东苜蓿 30 kg hm⁻²、天蓝苜蓿 45 kg hm⁻²、箭筈豌豆 120 kg hm⁻²,种子由甘肃农业大学草业生态系统教育部重点实验室提供,小区面积为 3 m × 2 m。种植豆科植物前测定 5 种连作马铃薯田土壤速效养分、pH、土壤电导率和酶活性,此测定值作为对照,在豆科植物完成生长周期后再次测定各个指标,通过 2 次数据的对比分析,研究轮作豆科植物对马铃薯连作田土壤养分、pH、土壤电导率及酶活性的影响。试区 0~50 cm 土壤基础理化性状见表 1。

表 1 试区土壤基础理化性状
Table 1 Soil chemical and physical properties at experiment area

土壤深度 Soil depth (cm)	pH (water)	有机质 Organic carbon (g kg ⁻¹)	总氮 Total N (g kg ⁻¹)	总磷 Total P (g kg ⁻¹)	有效磷 Olsen P (mg kg ⁻¹)	有效钾 Available K (mg kg ⁻¹)	容重 Bulk density (mg m ⁻³)
0-5	8.3	7.63	0.85	1.89	13.3	349.6	1.29
5-10	8.4	7.46	0.87	1.92	11.5	330.2	1.23
10-30	8.3	6.93	0.78	1.82	4.9	244.0	1.32
30-50	8.3	6.63	0.78	1.72	1.8	173.0	1.20

1.2 土壤样品采集

于播种豆科植物前和完成生长周期后,分别在每个小区内按照 S 形选取采样点,用直径 4 cm 的土钻取土壤 0~30 cm 土层土样。每个小区取 6 个点并混匀为一个样,剔除其中混杂的断根和石块后自然风干并过 1 mm 筛,用于测量土壤养分、pH、土壤电导率及酶活性。

1.3 测定项目与方法

1.3.1 土壤养分 参照《土壤农化分析》^[16],采用碱解扩散法测土壤速效氮含量;采用 0.5 mol L⁻¹ NaHCO₃ 法测土壤速效磷含量;采用 NH₄OAc 浸提-火焰光度法测土壤速效钾含量。

1.3.2 土壤电导率 采用雷磁 DDSJ-308A 电导率仪测定^[17-18]。

1.3.3 土壤酶活性 采用 KMnO_4 滴定法测定过氧化氢酶活性, 结果以单位土重消耗的 $0.0002 \text{ mol L}^{-1}$ 高锰酸钾毫升数表示。采用苯酚钠次氯酸钠比色法测定脲酶活性, 结果以每 100 g 土的 NH_4^+-N 毫克数表示。采用磷酸苯二钠比色法测定磷酸酶活性, 结果以每 100 g 土壤中酚毫克数表示^[19]。

1.3.4 数据处理 采用 Microsoft Excel 2010 软件处理数据; 用 DPS 7.05 统计软件进行方差分析, 并用 LSD 法进行同一连作年限内处理间差异显著性多重比较($P < 0.05$)。

2 结果与分析

2.1 轮作豆科植物对连作马铃薯土壤速效氮含量的影响

表 2 表明, 随马铃薯连作年限的增加, 土壤速效氮含量降低(对照)。轮作豆科植物后, 1 年连作田土壤速效氮含量均显著降低, 箭筈豌豆、天蓝苜蓿和陇东苜蓿处理组分别比对照降低 66.4%、47.9%和

60.5%; 对于 2 年连作田, 轮作天蓝苜蓿和箭筈豌豆后, 土壤速效氮均不同程度地增加, 与对照相比, 分别增加 0.6 mg kg^{-1} 和 2.7 mg kg^{-1} , 轮作陇东苜蓿后, 土壤速效氮含量降低 18.0%; 而 3 年以上的连作田轮作 3 种豆科植物后, 土壤速效氮含量均显著增加, 且轮作陇东苜蓿和箭筈豌豆优于天蓝苜蓿。

2.2 轮作豆科植物对连作马铃薯土壤速效磷含量的影响

从表 3 可以看出, 连作 2 年时马铃薯土壤速效磷含量有小幅增加, 之后随连作年限增加逐渐降低。对于 1 年连作田, 轮作天蓝苜蓿和陇东苜蓿的土壤速效磷含量均显著增加, 而轮作箭筈豌豆的处理组与对照相比减少 16.4%, 但差异不显著; 2 年连作田轮作 3 种豆科植物后, 土壤速效磷均显著降低, 轮作天蓝苜蓿、陇东苜蓿和箭筈豌豆的处理分别比对照降低 54.0%、51.5%和 37.2%。从连作第 3 年开始, 通过与 3 种豆科植物轮作, 连作马铃薯田土壤速效磷含量均显著增加。

表 2 轮作豆科植物对连作马铃薯土壤速效氮含量的影响

Table 2 Effect of rotation legumes plants on soil available nitrogen content for continuous cropping potato

连作年限 Years of continuous cropping	天蓝苜蓿 <i>Medicago lupulina</i>	陇东苜蓿 Longdong alfalfa	箭筈豌豆 Common vetch	对照 Control
1 年 One year	8.7 b	6.6 bc	5.6 c	16.7 a
2 年 Two years	9.5 b	7.3 c	11.6 a	8.9 b
3 年 Three years	7.3 b	8.2 ab	9.6 a	3.8 c
4 年 Four years	9.0 b	15.0 a	12.5 a	2.6 c
7 年 Seven years	5.4 a	6.9 a	6.3 a	1.5 b

表 3 轮作豆科植物对连作马铃薯土壤速效磷含量的影响

Table 3 Effect of rotation legumes plants on soil available phosphorus content for continuous cropping potato

连作年限 Years of continuous cropping	天蓝苜蓿 <i>Medicago lupulina</i>	陇东苜蓿 Longdong alfalfa	箭筈豌豆 Common vetch	对照 Control
1 年 One year	37.9 a	31.7 b	17.8 c	21.3 c
2 年 Two years	11.0 b	11.6 b	15.0 b	23.9 a
3 年 Three years	59.6 a	19.4 b	40.0 b	16.5 c
4 年 Four years	26.3 b	26.4 b	29.7 a	19.7 c
7 年 Seven years	29.6 a	18.1 b	18.9 b	15.6 c

2.3 轮作豆科植物对连作马铃薯土壤速效钾含量的影响

由表 4 可知, 从连作第 2 年起马铃薯田土壤速效钾含量急剧下降。轮作天蓝苜蓿和箭筈豌豆后, 1 年连作田土壤的速效钾含量显著降低, 分别比对照降低 71.7%和 73.8%, 而轮作陇东苜蓿处理组在数值上比对照减少 8.8%, 但差异不显著; 2 年连作田轮作

3 种豆科植物后, 土壤中速效钾含量均显著降低, 其中以轮作天蓝苜蓿降幅最大, 为 83.1%, 而轮作陇东苜蓿和箭筈豌豆处理组分别降低 73.4%和 40.6%。对于 3 年连作田, 轮作天蓝苜蓿和箭筈豌豆的处理, 土壤速效钾含量分别比对照增加 22.4%和 26.8%, 而陇东苜蓿处理组则降低 67.2%; 通过轮作天蓝苜蓿, 4 年连作田土壤速效钾含量比对照增加 1.6 倍, 而使

用陇东苜蓿和箭筈豌豆轮作的速效钾含量分别比对照降低 38.3%和 3.1%。连作 7 年的马铃薯田土壤，通过不同植物轮作后也显示出不同的结果，天蓝苜蓿轮作后，土壤速效钾含量比对照增加 3.57 倍，使用陇东苜蓿和箭筈豌豆的处理，土壤中速效钾含量相比对照分别减少 87.0%和 65.0%。

2.4 轮作豆科植物对连作马铃薯土壤电导率的影响

由表 5 可知，轮作豆科植物后，马铃薯 5 种连作

田土壤电导率值均显著降低。轮作天蓝苜蓿、陇东苜蓿和箭筈豌豆后，1 年连作田土壤电导率值分别比对照下降 53.3%、59.3%和 69.7%；对于 2 年连作田，轮作天蓝苜蓿的处理组土壤电导率值下降幅度最大，为 72.8%，而轮作箭筈豌豆的下降幅度最小，为 50.4%；3 年连作田轮作天蓝苜蓿、陇东苜蓿和箭筈豌豆后，土壤电导率值分别下降 10.0%、32.4%和 43.1%；4 年连作田分别降低 55.6%、23.6%和 2.5%；而 7 年连作田分别减少 50.5%、60.0%和 46.7%。

表 4 轮作豆科植物对连作马铃薯土壤速效钾含量的影响
Table 4 Effect of rotation legumes plants on soil available potassium content for continuous cropping potato field

连作年限 Years of continuous cropping	天蓝苜蓿 <i>Medicago lupulina</i>	陇东苜蓿 Longdong alfalfa	箭筈豌豆 Common vetch	对照 Control
1 年 One year	115.0 b	371.0 a	106.5 b	406.7 a
2 年 Two years	73.0 d	115.0 c	257.0 b	433.0 a
3 年 Three years	460.0 a	123.0 b	476.5 a	375.7 a
4 年 Four years	616.5 a	148.0 b	232.5 b	240.0 b
7 年 Seven years	405.0 a	11.5 b	31.0 b	88.7 b

表 5 轮作豆科植物对连作马铃薯土壤电导率的影响
Table 5 Effect of rotation forage legumes on soil conductivity for continuous cropping potato field

连作年限 Years of continuous cropping	天蓝苜蓿 <i>Medicago lupulina</i>	陇东苜蓿 Longdong alfalfa	箭筈豌豆 Common vetch	对照 Control
1 年 One year	228.0 b	199.0 c	147.9 d	488.3 a
2 年 Two years	147.8 d	200.0 c	270.0 b	544.3 a
3 年 Three years	325.3 b	261.7 c	205.7 d	361.3 a
4 年 Four years	141.9 d	244.3 c	311.7 b	319.7 a
7 年 Seven years	162.4 c	131.3 d	174.9 b	328.0 a

2.5 轮作豆科植物对连作马铃薯土壤酶活性的影响

图 1 表明，通过轮作豆科植物，马铃薯连作田土壤脲酶、碱性磷酸酶和过氧化氢酶活性均不同程度增强。对于连作 1 年、2 年和 4 年的土壤，脲酶活性促进作用最大的为箭筈豌豆，分别比对照增加 3.1 倍、4.2 倍和 4.7 倍；3 年连作田以轮作陇东苜蓿促进脲酶活性作用最为显著，比对照增加 6.4 倍；连作 7 年土壤脲酶活性对天蓝苜蓿最为敏感，比对照增加 5.5 倍。对于碱性磷酸酶活性，连作 1 年和连作 4 年的土壤对箭筈豌豆反应最为灵敏；连作 2 年、3 年和 7 年的土壤对天蓝苜蓿反应最为灵敏。对于过氧化氢酶活性，1 年、3 年和 4 年连作田轮作天蓝苜蓿显著高于轮作其他两种植物，相比箭筈豌豆和陇东苜

蓿连作 1 年土壤酶活性提高 28.7%和 82.8%；连作 3 年田土壤酶活性增加 1.8%和 3.5%；连作 4 年土壤酶活性提高 62.7%和 34.2%；2 年和 7 年连作田轮作箭筈豌豆的过氧化氢酶活性增幅最大，比轮作天蓝苜蓿分别提高 19.3%和 28.7%，比轮作陇东苜蓿的土壤分别增加 28.4%和 14.2%。

2.6 轮作豆科植物后马铃薯产量

图2表明，1年连作田上轮作3种植物后对马铃薯产量没有明显影响；对于2年连作田，轮作天蓝苜蓿的产量显著高于箭筈豌豆；3年连作田，轮作天蓝苜蓿和箭筈豌豆的产量显著高于陇东苜蓿；4年连作田，轮作3种植物后马铃薯产量差异均达显著水平，以轮作天蓝苜蓿的最高，轮作陇东苜蓿的最低；7年连作田，以轮作箭筈豌豆的产量最高。

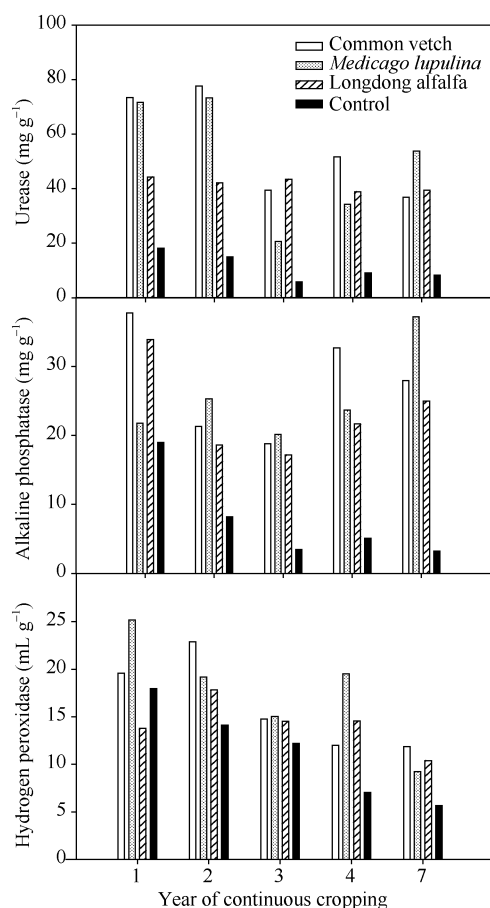


图1 轮作豆科植物对连作马铃薯田土壤酶活性的影响

Fig. 1 Effect of rotation legumes plants on soil enzyme activity for continuous cropping potato field

3 讨论

总体来看,随马铃薯连作年限的增加,马铃薯田土壤速效养分呈下降趋势,而且速效氮和速效钾含量下降幅度大于速效磷。这与部分研究结果相似,认为随着大豆、水稻连作年限的增加,土壤中速效

钾含量显著降低^[20-21]。而合理的农田轮作系统能极大改善土壤的养分特征^[22]。本试验结果表明,轮作3种豆科植物对马铃薯1年连作田土壤速效氮含量没有明显的促进作用;对马铃薯2年连作田,仅箭筈豌豆对土壤中氮素有效性有促进作用,而天蓝苜蓿和陇东苜蓿效果不明显。对于连作3年、4年和7年的马铃薯田土壤,轮作3种豆科植物均能提高土壤氮素的有效性,且箭筈豌豆和陇东苜蓿的效果优于天蓝苜蓿。另外,对于马铃薯1年连作田,轮作天蓝苜蓿和陇东苜蓿后土壤速效磷均显著增加,而轮作箭筈豌豆作用不显著;而2年连作田轮作3种豆科植物后土壤速效磷含量均显著降低,从连作3年开始,轮作3种豆科植物后,对土壤磷素的有效性均产生了极为显著的提升作用。而马铃薯-豆科植物轮作对土壤速效钾含量的影响不同于速效氮和速效磷。对于马铃薯4年以上的连作田,轮作天蓝苜蓿可提高土壤速效钾含量,而其他连作年限及轮作箭筈豌豆和陇东苜蓿均没有提高土壤速效钾含量;7年连作田在轮作陇东苜蓿和箭筈豌豆后,土壤中速效钾含量甚至分别降低了87.0%和65.0%。由此可见,轮作系统对连作田土壤养分的恢复作用与连作年限有关,也与养分种类及轮作作物有关^[22]。一般来说,连作年限越长,轮作后对土壤速效养分补给越明显。

通过轮作豆科植物,不同连作年限马铃薯田土壤电导率均显著下降。对于连作1年的马铃薯田,轮作箭筈豌豆效果最佳,其次为陇东苜蓿和天蓝苜蓿。对于连作2年马铃薯的土壤,轮作3种豆科植物对土壤盐渍化改良作用强弱表现为天蓝苜蓿>陇东苜蓿>箭筈豌豆。连作3年马铃薯土壤,盐渍化改良能力为箭筈豌豆>陇东苜蓿>天蓝苜蓿。对于连作4年

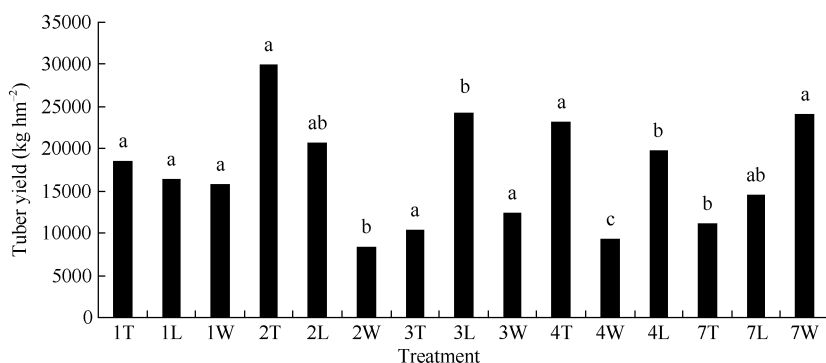


图2 轮作豆科植物后马铃薯产量

Fig. 2 Potato yield by rotation of legume plants

1~7 表示连作年限, T、L 和 W 分别表示天蓝苜蓿、陇东苜蓿和箭筈豌豆。图中不同小写字母表示处理间差异显著($P < 0.05$)。The numbers 1~7 represent continuous cropping years, and T, L and W represent *Medicago lupulina*, common vetch and Longdong alfalfa, respectively. Different small letters in the figure meant significant difference among treatments at 0.05 level.

的马铃薯田土, 天蓝苜蓿的盐渍化改良作用最强, 陇东苜蓿次之, 箭筈豌豆最弱。而对于连作 7 年马铃薯田, 则盐渍化改良效果为陇东苜蓿>天蓝苜蓿>箭筈豌豆。说明马铃薯-豆科植物轮作系统对降低土壤含盐量及防止马铃薯连作田土壤盐渍化有显著的效果。

土壤酶在土壤生态系统的物质循环和能量转化中起着非常重要的作用^[23], 它不仅是催化土壤中一切生物化学反应的重要物质; 同时, 其活性强弱也是确定土壤各种生物化学过程的动向和强度的重要指标^[24]。土壤酶活性与土壤生物区系、数量和生物多样性密切相关, 它们一起推动着土壤的代谢过程, 是土壤质量的生活指标^[25-26]。因而土壤酶活性对环境扰动的响应、根际土壤酶功能的重要性、土壤酶研究技术以及土壤酶作为土壤质量的指标等成为研究的主攻方向^[27]。本研究表明, 通过轮作豆科植物, 连作土壤脲酶、土壤碱性磷酸酶和土壤过氧化氢酶活性均显著提高, 但轮作不同豆科植物对土壤各种酶活性的影响不同。通过对北美马铃薯生产体系的研究表明, 轮作对马铃薯病害有显著的影响^[28], 同时对马铃薯土壤微生物群落有显著的影响^[29], 另有研究表明, 轮作对马铃薯土壤质量和土壤的理化性质均有很明显的影响^[30-32]。从第 2 年连作开始, 轮作豆科植物对后茬马铃薯产量产生明显影响, 其中, 第 3~第 4 年连作期间, 轮作天蓝苜蓿和箭筈豌豆对后茬马铃薯增产效果较明显。

4 结论

轮作天蓝苜蓿、陇东苜蓿和箭筈豌豆 3 种豆科植物均能提高马铃薯 2 年以上连作田土壤有效氮含量; 轮作 3 种豆科植物可显著提高 3 年以上连作田土壤速效磷含量, 增幅最高可达 207%; 而轮作天蓝苜蓿可提高 3~4 年连作田土壤速效钾含量, 其他连作年限及轮作箭筈豌豆和陇东苜蓿均没有提高土壤速效钾含量。轮作豆科植物使不同连作年限马铃薯连作田土壤 EC 值均显著下降, 说明实施马铃薯-豆科植物轮作对防止马铃薯连作田土壤盐渍化有显著的效果。轮作豆科植物使连作田土壤脲酶、碱性磷酸酶和过氧化氢酶活性均显著提高。从第 2 年连作开始, 轮作豆科植物对后茬马铃薯产量产生明显影响, 第 3~第 4 年连作期间, 轮作天蓝苜蓿和箭筈豌豆对后茬马铃薯增产效果较显著。

References

[1] Lithourgidis A S, Damalas C A, Gagianas A A. Long term yield

- patterns for continuous winter wheat cropping in northern Greece. *Eur J Agron*, 2006, 25: 208-214
- [2] 李春格, 李晓鸣, 王敬国. 大豆连作对土体和根际微生物群落功能的影响. *生态学报*, 2006, 26: 1144-1150
- Li C G, Li X M, Wang J G. Effect of soybean continuous cropping on bulk and rhizosphere soil microbial community function. *Acta Ecol Sin*, 2006, 26: 1144-1150 (in Chinese with English abstract)
- [3] 裴国平, 王蒂, 张俊莲. 马铃薯连作障碍产生的原因与防治措施. *广东农业科学*, 2010, (6): 30-32
- Pei G P, Wang D, Zhang J L. Study on the occurring reasons and controls of continuous cropping obstacle in potato. *Agric Sci Guangdong*, 2010, (6): 30-32 (in Chinese with English abstract)
- [4] Van Elsland J D, Garbeva P, Salles J. Effects of agronomical measures on the microbial diversity of soils as related to the suppression of soil-borne plant pathogens. *Biodegradation*, 2002, 13: 29-40
- [5] 胡宇, 郭天文, 张绪成. 旱地马铃薯连作对土壤养分的影响. *安徽农业科学*, 2009, 37: 5436-5439
- Hu Y, Guo T W, Zhang X C. Effect of potato continuous cropping on soil nutrients in dry land. *J Anhui Agric Sci*, 2009, 37: 5436-5439 (in Chinese with English abstract)
- [6] 郑良永, 胡剑非, 林昌华, 唐群锋, 郭巧云. 作物连作障碍的产生及防治. *热带农业科学*, 2005, 25(2): 58-62
- Zheng L Y, Hu J F, Lin C H, Tang Q F, Guo Q Y. The production of succession cropping obstacles and its prevention and cure steps. *Chin J Trop Agric*, 2005, 25(2): 58-62 (in Chinese with English abstract)
- [7] 杨成德, 龙瑞军, 陈秀蓉, 徐长林, 薛莉. 东祁连山高寒灌丛草地土壤微生物量及土壤酶季节性动态特征. *草业学报*, 2011, 12, 20(6): 135-142
- Yang C D, Long R J, Chen X R, Xu C L, Xue L. Seasonal dynamics in soil microbial biomass and enzymatic activities under different alpine brushlands of the Eastern Qilian Mountains. *Acta Pratacult Sin*, 2011, 12, 20(6): 135-142 (in Chinese with English abstract)
- [8] 张莉, 王长庭, 刘伟, 王启兰, 李里, 向泽宇. 不同建植期人工草地优势种植物根系活力、群落特征及土壤环境的关系. *草业学报*, 2012, 21(5): 185-194
- Zhang L, Wang C T, Liu W, Wang Q L, Li L, Xiang Z Y. Relationships of dominant species root activity, plant community characteristics and soil micro-environment in artificial grassland over different cultivation periods. *Acta Pratacult Sin*, 2012, 21(5): 185-194 (in Chinese with English abstract)
- [9] 孙秀山, 封海胜, 万书波, 左学青. 连作花生田主要微生物类群与土壤酶活性变化及其交互作用. *作物学报*, 2001, 27: 617-620
- Sun X S, Feng H S, Wan S B, Zuo X Q. Changes of main microbial strains and enzymes activities in peanut continuous cropping soil and their interactions. *Acta Agron Sin*, 2001, 27: 617-620 (in Chinese with English abstract)
- [10] 王树起, 韩晓增, 乔云发, 王守宇, 李晓慧, 许艳丽. 寒地黑土大豆轮作与连作不同年限土壤酶活性及相关肥力因子的变化. *大豆科学*, 2009, 28: 611-615
- Wang S Q, Han X Z, Qiao Y F, Wang S Y, Li X H, Xu Y L. Variation of soil enzymes activity and relevant nutrients at different years of soybean (*Glycine max* L.) rotation, alternate and con-

- tinuous cropping. *Soybean Sci*, 2009, 28: 611–615 (in Chinese with English abstract)
- [11] 孔凡磊, 陈阜, 张海林. 轮耕对土壤物理性状和冬小麦产量的影响. *农业工程学报*, 2010, 26(8): 150–155
Kong F L, Chen F, Zhang H L. Effects of rotational tillage on soil physical properties and winter wheat yield. *Trans CSAE*, 2010, 26(8): 150–155 (in Chinese with English abstract)
- [12] Alva A K, Marcos J, Stockle C, Reddy V R, Timlin D. A crop simulation model for predicting yield and fate of nitrogen in irrigated potato rotation cropping system. *J Crop Improv*, 2010, 4: 142–152
- [13] Carter M R, Peters R D, Sanderson J B. Influence of conservation tillage and rotation length on potato productivity, tuber disease, and soil quality parameters on a fine sandy loam in eastern Canada. *Soil Till Res*, 2001, 63: 1–13
- [14] Lynch D H, Zheng Z, Zebarth B J, Martin R C. Organic amendments effects on tuber yield, plant N uptake and soil mineral N under organic potato production. *Renew Agric Food Syst*, 2008, 23, 250–259
- [15] Ojaghian M R, Cui Z Q, Xie G L, Li B, Zhang J Z. Brassica green manure rotation crops reduce potato stem rot caused by *Sclerotinia sclerotium*. *Aust Plant Pathol*, 2012, 41: 347–349
- [16] 鲍士旦主编. 土壤农化分析. 北京: 中国农业出版社, 1999
Bao S D. Analysis of Soil Agricultural Chemistry. Beijing: China Agriculture Press, 1999 (in Chinese)
- [17] 孙权. 农业资源与环境质量分析方法. 银川: 宁夏人民出版社, 2004. p 12
Sun Q. Analysis Method of Agricultural Resource and Environmental Quality. Yinchuan: Ningxia People's Press, 2004 (in Chinese)
- [18] 中国土壤学会农业化学专业委员会. 土壤农业化学常规分析方法. 北京: 科学出版社, 1986. pp 49–52
Agricultural Chemical Professional Committee of China Soil Society. Method for Soil Agricultural and Chemical Routine Analysis. Beijing: Science Press, 1986. pp 49–52 (in Chinese)
- [19] 周礼恺. 土壤酶学. 北京: 科学出版社, 1987
Zhou L K. Soil Enzymology. Beijing: Science Press, 1987 (in Chinese)
- [20] 于广武, 许艳丽, 刘晓冰, 王光华, 鲁振明. 大豆连作障碍机制研究初报. *大豆科学*, 1993, 12: 237–243
Yu G W, Xu Y L, Liu X B, Wang G H, Lu Z M. Primary study on barrier caused by continuous soybean cropping. *Soybean Sci*, 1993, 12: 237–243 (in Chinese with English abstract)
- [21] Olk D C, Anders M M, Filley T R, Isbell C. Crop nitrogen uptake and soil phenols accumulation under continuous rice cropping in Arkansas. *Soil Biol & Biochem*, 2009, 73: 952–960
- [22] 郝旺林, 梁银丽, 朱艳丽, 吴兴, 林兴军, 罗安荣. 农田粮-菜轮作体系的生产效益与土壤养分特征. *水土保持通报*, 2011, 31(2): 46–51
Hao W L, Liang Y L, Zhu Y L, Wu X, Lin X J, Luo A R. Production efficiency and soil nutrient characteristics in food-vegetable rotation systems. *Bull Soil Water Conserv*, 2011, 31(2): 46–51 (in Chinese with English abstract)
- [23] 岳阳, 王亚军, 谢忠奎, 张亚娟. 砾石覆盖年限对连作农田土壤微生物和酶活性的影响. *水土保持学报*, 2011, 31(5): 66–68
Yue Y, Wang Y J, Xie Z K, Zhang Y J. Temporal effects of gravel-sand mulching on soil microbial population and soil enzyme activity in croplands with continuous cultivation. *Bull Soil Water Conserv*, 2011, 31(5): 66–68 (in Chinese with English abstract)
- [24] 李勇. 试论土壤酶活性与土壤肥力. *土壤通报*, 1989, 20: 190–193
Li Y. The relationship of soil enzyme and soil fertilizer. *Bull Soil*, 1989, 20: 190–193 (in Chinese with English abstract)
- [25] Taylor J P, Wilson B, Mills M S, Burns R G. Comparison of microbial numbers and enzymatic activities in surface and subsoils using various techniques. *Soil Biol Biochem*, 2002, 34: 387–401
- [26] Glenn J K, Gold M N. Purification and characterization of an extracellular Mn (II)-dependent peroxidase from the lignin-degrading basidiomycetes, *Phanerochaete chrysosporium*. *Aich Biochem*, 1985, 242: 329–341
- [27] 索南吉, 谈焉荣, 朱炜歆, 顾振宽, 杜国祯. 青藏高原东缘不同草地类型土壤酶活性研究. *草业学报*, 2012, 21(4): 10–15
Suo N J, Tan Y R, Zhu W X, Gu Z K, Du G Z. A study on soil enzyme activity in four different grasslands of the eastern Tibetan Plateau. *Acta Pratacult Sin*, 2012, 21(4): 10–15 (in Chinese with English abstract)
- [28] Peters R D, Sturz A V, Carter M R, Sanderson J B. Influence of crop rotation and conservation tillage practices on the severity of soil-borne potato diseases in temperate humid agriculture. *Can J Soil Sci*, 2004, 84: 397–402
- [29] Larkin R P, Honeycutt C W. Effects of different 3-year cropping systems on soil microbial communities and Rhizoctonia diseases of potato. *Phytopathology*, 2006, 96: 68–79
- [30] Carter, M R, Kunelius H T, Sanderson J B, Kimpinskia J, Platta H W, Bolinder M A. Productivity parameters and soil health dynamics under long-term 2-year potato rotations in Atlantic Canada. *Soil & Till Res*, 2003, 72: 153–168
- [31] Mohr R M, Volkmar K, Derksen D A, Irvine R B, Khakbazan M, McLaren D L, Monreal M A, Moulin A P, Tomasiewicz D J. Effect of rotation on crop yield and quality in an irrigated potato system. *Am J Pot Res*, 2011, 88: 346–359