

豫西旱坡地长期保护性耕作土壤酶活性及其与肥力关系

张 洁^{1,2}, 姚宇卿^{1,2}, 吕军杰^{1,2}, 蔡典雄^{2,3}, 金 轲³, 李俊红^{1,2},
丁志强^{1,2}, 孙敬克⁴, 檀尊社⁵, 吴剑峰^{1,2}, 张少澜¹

(1. 洛阳市农业科学研究所, 河南 洛阳 471022; 2. 中国农科院洛阳旱农试验基地, 河南 洛阳 471022;

3. 中国农科院农业资源与区划所, 北京 100081; 4. 平顶山工学院, 河南 平顶山 467000; 5. 洛阳市农业局, 河南 洛阳 471000)

摘 要: 为探讨多年保护性耕作下土壤酶活性及其与土壤肥力的关系, 对豫西旱区坡耕地定位试验第 7 年保护性耕作的土壤酶活性以及土壤养分进行了测定和分析。结果表明: 深松覆盖和免耕覆盖能够提高 3 种酶活性, 特别是能明显提高 0~10 cm 土层土壤酶活性, 其中脲酶活性增加最多。脲酶与有机质、全磷、速效磷、速效钾、碱解氮呈显著或极显著相关关系, 转化酶与全磷、全钾呈极显著相关, 与速效磷显著相关, 而过氧化氢酶只与全磷呈显著相关。脲酶活性可作为评价本生态类型土壤肥力的指标, 过氧化氢酶可起辅助作用。

关键词: 土壤; 酶活性; 养分; 土壤肥力; 相关分析; 保护性耕作; 坡耕地

中图分类号: S151.9⁺3 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-7601(2011)02-0142-05

土壤酶是表征土壤中物质、能量代谢旺盛程度和土壤质量水平的一个重要生物指标。农田管理措施影响土壤理化性质、土壤生物区系和农业植被等, 从而直接或间接影响土壤酶活性, 土壤肥力质量演变可以通过土壤酶活性体现出来^[1,2]。土壤酶在响应作物轮作、残留物管理和土壤压实、翻耕等不同土壤管理措施的效果时比较敏感^[3]。豫西位于黄土高原东南缘, 是黄土高原向黄淮海平原过渡的中心地带。该区属暖温带半湿润偏旱气候, 年平均气温 12℃~14.5℃, 多年平均降雨量 640.2 mm。由于受季风气候的影响, 降水量年际间变化波动较大, 且降水季节分布不均, 60%~80% 的降雨集中在 7~9 月, 水土流失严重, 土壤肥力下降, 耕性变差, 生态环境恶化越来越严重, 严重制约着该区旱作农业的可持续发展。洛阳农科院 1999 年开始在豫西雨养区坡耕地进行保护性耕作研究, 提出了以深松与免耕覆盖技术为核心的保护性耕作技术可减缓旱区土壤衰竭退化趋势, 可提高作物产量和水分利用效率, 减少水土流失, 有效调控土壤水库, 为作物生长提供了良好环境, 可降低灾害年份的损失^[4~8]等研究结论。而对长期定位下土壤生物环境的变化研究较少, 本试验对长期定位(7a)保护性耕作措施下土壤酶活性进行了研究, 探讨保护性耕作下土壤质量的变化以及作物增产的机理, 为保护性耕作在本地区的推广

应用提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 试验地概况

1999 年开始在豫西雨养区坡耕地进行保护性耕作, 试验区位于黄土高原东部河南省洛阳市北部 20 km 孟津县送庄村中国农科院洛阳旱作农业观测场, 东经 113°, 北纬 34.5°, 年平均气温 14℃, 地形属典型的丘陵坡耕地, 土壤为黄土质褐土, 土壤中黏粒、粉粒和沙粒的质量分数分别是 14.4%、74.2% 和 11.4%。种植模式为一年一熟, 夏休闲, 供试作物为冬小麦。

试验地坡度为 8°, 处理小区面积 3 m×30 m (90 m²), 共设 4 个处理: ①一次深翻 RT: 收获时保留 10~15 cm 残茬; 小麦收获后, 7 月初深翻 30 cm, 同时耙耱; ②免耕覆盖 (NT): 小麦收获时留茬 35~40 cm, 免耕。③深松覆盖 (SS): 收获时保留 40 cm 的残茬, 7 月初间隔 60 cm 深松 40 cm 深, 深松带为 20 cm (平行于等高线)。④传统耕作 (CT): 收获时保留 10~15 cm 的残茬留在地里, 在 7 月初, 翻耕 20 cm, 不耙耱, 9 月中下旬耕翻第二次。各处理肥料施用量: N 135 kg/hm², P₂O₅ 90 kg/hm², K₂O 75 kg/hm²。

1.2 样品采集

土壤样品采集: 土壤酶每个处理分坡上、坡下取

收稿日期: 2010-09-06

基金项目: 中国与比利时国际合作项目“强化旱区坡耕地水土保持”(13v33498); 948 重点项目“节水农作制度关键技术引进与创新”(2006-G52) 国际 CIMMYT“水和粮食挑战计划”项目(2002AA6Z3311); 国家科技支撑计划“河南半干旱区主要粮食作物综合节水技术研究与示范”(2007BAD88B02-04)

作者简介: 张 洁(1972-), 女, 河南洛阳人, 副研究员, 从事土壤肥料及旱作农业研究。E-mail: jiezhang1215@sohu.com。

样,每个点取多个土样混合,分别取 0~10、10~20 cm 两个土层的土样。土壤养分以坡上、坡中、坡下取三点多个土样混合。样品的采集时间为 2006 年 9 月中旬。

1.3 分析方法

脲酶采用苯酚钠比色法(mg NH₂-N/100 g 干土,37℃, 24 h);过氧化氢酶—高锰酸钾滴定法(0.1 M KMnO₄ ml/g 干土 25℃, 20 min);转化酶—硫代硫酸钠滴定法(0.1 M Na₂S₂O₃ ml/g 干土, 37℃, 24 h)^[9,10]。

土壤有机质、全氮、全磷、全钾、速效磷、速效钾和碱解氮分别用重铬酸钾容量法—稀释热法、酸溶—半微量凯氏法、酸溶—钼锑抗比色法、酸溶—火焰分光光度计法、NaHCO₃ 钼锑抗比色法、NH₄COOH 火焰分光光度计法和碱解扩散法^[11]。

2 结果与分析

2.1 不同耕作对土壤脲酶的影响

脲酶是土壤中主要的水解酶类之一,是一种将酰胺态有机氮化物水解转化为植物可以吸收利用的无机氮化物的酶,对尿素在土壤中的水解及作物对尿素氮的利用有重大的影响,脲酶活性的高低在一定程度上反应了土壤供氮水平的高低^[12]。表 1 为不同耕作对土壤脲酶活性的影响,可看出坡上一次深翻和传统耕作的 0~10 cm 的脲酶活性低于 10~20 cm,而免耕覆盖和深松覆盖则相反,这与免耕

和深松的秸秆覆盖有关;坡下 0~10 cm 的脲酶活性均高于 10~20 cm,但一次深翻和传统耕作两层次相差不大,因两者进行翻耕增加了层次的均匀性。与传统耕作相比 0~10 cm 的脲酶活性免耕覆盖提高了 13.78%,深松覆盖增加了 10.93%,而一次深翻降低了 7.79%;0~20 cm 脲酶活性表现为深松覆盖>免耕覆盖>传统耕作>一次深翻,说明秸秆还田既培肥了土壤,也显著地改善土壤脲酶活性,增加了土壤供氮能力。

2.2 不同耕作对土壤过氧化氢酶的影响

过氧化氢酶广泛存在于生物体和土壤中,它能促使过氧化氢分解为水和氧,从而解除过氧化氢的毒害作用,其活性可以反映土壤中有机物氧化的过程^[12]。不同耕作下过氧化氢酶活性见表 2,可见过氧化氢酶的规律很强,0~10 cm 的活性大于 10~20 cm,坡下大于坡上。0~10 cm 过氧化氢酶以深松覆盖最高较传统增加 7.84%,免耕次之,一次深翻降低了 0.72%;10~20 cm 过氧化氢酶活性只有深松覆盖增加了 8.14%;0~20 cm 表现为深松覆盖>免耕覆盖>传统耕作>一次深翻,较传统耕作分别增加了 7.99%、1.47%和-2.27%,这与脲酶活性一致。土壤过氧化氢酶活性,与土壤呼吸强度和土壤微生物活动相关,在一定程度上反映了土壤微生物学过程的强度,说明多年的深松和免耕改善了土壤特性,有利于微生物的生长,从而提高肥料和土壤养分的有效性。

表 1 不同耕作对土壤脲酶活性的影响(mg NH₂-N/100 g 干土,37℃, 24 h)

Table 1 Effects of different tillage systems on soil urease activity												
处理	坡上 Higher-slop			坡下 Lower-slop			坡上坡下平均 Average			较 CT 增加 Increase(%)		
Treatment	0~10 cm	10~20 cm	0~20 cm	0~10 cm	10~20 cm	0~20 cm	0~10 cm	10~20 cm	0~20 cm	0~10 cm	10~20 cm	0~20 cm
RT	55.68C	70.09A	62.88a	73.71C	72.56a	73.13a	64.70	71.32	68.01	-7.79	3.44	-2.22
NT	76.15A	61.75B	68.95a	83.50A	68.66b	76.08a	79.83	65.20	72.51	13.78	-5.44	4.25
SS	76.52A	72.03A	74.28a	79.14B	69.66b	74.40a	77.83	70.84	74.34	10.93	2.75	6.87
CT	68.77B	69.82A	69.29a	71.55C	68.08b	69.82a	70.16	68.95	69.56			

注:一次深翻 RT,免耕覆盖 NT,深松覆盖 SS,传统耕作 CT。表中数据后的大写字母表示达 0.01 极显著水平,小写字母表示达 0.05 显著水平。下同。

Note: Reduce tillage(RT), No tillage(NT), Sub-soiling tillage(SS), Conventional tillage(CT). Small letters mean difference at P<0.05 level and capital letters mean P<0.01 level.

表 2 不同耕作对过氧化氢酶活性的影响(0.1 M KMnO₄ ml/g 干土,25℃, 20 min)

Table 2 Effects of different tillage systems on soil catalase activity												
处理	坡上 Higher-slop			坡下 Lower-slop			坡上坡下平均 Average			较 CT 增加 Increase(%)		
Treatment	0~10 cm	10~20 cm	0~20 cm	0~10 cm	10~20 cm	0~20 cm	0~10 cm	10~20 cm	0~20 cm	0~10 cm	10~20 cm	0~20 cm
RT	0.9383C	0.9124C	0.9254a	0.9393C	0.9210B	0.9302a	0.9388	0.9167	0.9278	-0.72	-3.80	-2.27
NT	0.9446C	0.9265BC	0.9355a	1.0033B	0.9788A	0.9910a	0.9739	0.9526	0.9633	3.00	-0.04	1.47
SS	1.0627A	0.9876A	1.0737a	1.0737A	0.9769A	1.0253a	1.0198	1.0306	1.0252	7.84	8.14	7.99
CT	0.9735B	0.9451B	0.9593a	0.9608BC	0.9177B	0.9392a	0.9456	0.9530	0.9493			

2.3 不同耕作对土壤转化酶的影响

转化酶又称蔗糖酶,广泛存在所有土壤中,它能裂解二糖(蔗糖)分子中果糖基的β—葡萄糖苷碳原子处的化合键,使蔗糖水解成葡萄糖和果糖,转化为

植物和微生物能够利用的营养物质,其活性强弱反映土壤熟化程度和肥力水平,对增加土壤中易溶性营养物质起重要作用,它是表征土壤生物学活性的重要酶之一^[12]。

表 3 不同耕作对转化酶活性的影响(0.1 M Na₂S₂O₃ ml/g 干土,20 min)

Table 3 Effects of different tillage systems on soil invertase activity												
处理	坡上 Higher-slop			坡下 Lower-slop			坡上坡下平均 Average			较 CT 增加 Increase(%)		
Treatment	0~10 cm	10~20 cm	0~20 cm	0~10 cm	10~20 cm	0~20 cm	0~10 cm	10~20 cm	0~20 cm	0~10 cm	10~20 cm	0~20 cm
RT	1.25D	0.76c	1.00a	1.21D	0.83C	1.02a	1.23	0.79	1.01	-11.80	-35.42	-22.75
NT	1.43B	1.19b	1.31a	1.47B	1.25A	1.36a	1.45	1.22	1.34	3.80	-0.56	1.76
SS	1.58A	1.22a	1.40a	1.50A	1.19B	1.35a	1.54	1.21	1.37	10.64	-1.99	4.72
CT	1.40C	1.22a	1.31a	1.39C	1.24A	1.32a	1.39	1.23	1.31			

从表 3 可看出,转化酶坡上和坡下相差不大;不同耕作以深松覆盖最高,一次深翻在各层次均较传统耕作下降很多,而深松和免耕在 10~20 cm 较传统稍有减少,0~20 cm 深松和免耕较传统分别增加了 4.72%和 1.76%.转化酶对土壤碳素循环有重要意义,肥力状况较好和有机质含量较高的土壤,转化酶活性也较高。说明保护性耕作秸秆的施入,转化酶活性增强,秸秆分解和转化的速率加快,为作物的生长发育提供充足的营养和好的环境。

综上所述,深松和免耕能够提高 3 种酶活性,深松覆盖较免耕覆盖酶活性强,其中脲酶活性增加最多,特别是能明显提高 0~10 cm 土层酶活性,这主要是因为保护性耕作中免耕和深松使作物残余物在表层累积,导致土壤表层微生物活性和生物量、土壤碳、氮和磷的增加,并增加了土壤水分、容重、团粒稳定性^[13,14],从而酶活性也相应提高。这与 Doran J W 和王芸研究结果一致^[15]。

2.4 不同耕作对土壤主要肥力因子的影响

保护性耕作是指对农田实行免耕、少耕,并用作物秸秆覆盖地表,以减少风蚀、水蚀,提高土壤肥力和抗旱能力的先进农业耕作技术^[16]。其技术关键是通过土壤少(免)耕、地表微地形改造技术及地表覆盖技术达到少动土、少裸露、少污染,并保持适度湿润和适度粗糙的土壤状态,从而保护土地可持续

生产力^[17]。保护性耕作对土壤养分的影响主要由作物秸秆还田与减少养分侵蚀两个方面。从表 4 结果可看出,经过了 7 a 的连续作用,这种影响表现的较为明显。土壤有机质含量提高显著,深松和免耕较传统增加了 13.91%和 11.67%;全氮免耕和深松较传统增加 10.42%、7.21%,全磷和全钾一次深翻有所降低外,其他处理间相差不大。速效养分免耕和深松不同程度均有所增加,这说明深松与免耕覆盖技术能够提高土壤肥力;一次深翻由于在耕翻后耙耱,土表比较平整,土壤颗粒较细,且没有覆盖,受雨滴打击后容易形成结皮,雨季易产生土壤径流,造成大量的土壤水分和养分的侵蚀流失。

2.5 土壤酶与土壤主要肥力因子养分的关系

土壤酶与土壤养分的相关性(表 5),从表中可知,3 种酶活性与各主要肥力因子呈正相关。脲酶与有机质、全磷、速效磷、速效钾、碱解氮呈显著或极显著相关关系,转化酶与全磷、全钾呈极显著相关,与速效磷显著相关,而过氧化氢酶只与全磷呈显著相关,与邱莉萍、孙瑞莲研究结果相同^[18,19];3 种酶之间脲酶和过氧化氢酶显著相关。由以上结果说明土壤酶活性与土壤肥力之间存在着非常密切的相关关系,在本地域生态条件下脲酶活性作为评价土壤肥力的指标是具有一定的可靠性,过氧化氢酶因与脲酶呈显著正相关可起辅助作用。

表 4 不同耕作下耕层养分的含量

Table 4 Content of nutrients in cultivation layer under different tillage							
处理	有机质	全氮	全磷	全钾	速效磷	速效钾	碱解氮
Treatment	Organic matter (g/kg)	Total nitrogen (g/kg)	Total phosphorus (%)	Total potassium (%)	Available phosphorus (mg/kg)	Available potassium (mg/kg)	Available nitrogen (mg/kg)
RT	10.14C	0.724B	0.070b	0.89a	7.23B	78.2B	53.76B
NT	11.48B	0.797A	0.079ab	1.06a	8.93A	90.0A	57.10A
SS	11.71A	0.774A	0.083a	1.10a	9.10A	89.5A	57.45A
CT	10.28C	0.722B	0.078ab	1.05a	7.96B	81.0B	53.95B

表 5 不同耕作耕层土壤酶与土壤养分的相关关系($n=4$)

Table 5 The correlative coefficients between soil enzyme activity and soil nutrient content

项目 Item	有机质 Organic matter	全氮 Total nitrogen	全磷 Total phosphorus	全钾 Total potassium	速效磷 Available phosphorus	速效钾 Available potassium	碱解氮 Available nitrogen	脲酶 Urease	转化酶 Invertase	过氧化氢酶 Catalase
脲酶 Urease	0.977* *	0.838	0.918*	0.847	0.976* *	0.955*	0.964* *	1	0.816	0.927*
转化酶 Invertase	0.729	0.619	0.952*	0.995* *	0.888*	0.800	0.707		1	0.717
过氧化氢酶 Catalase	0.847	0.587	0.896*	0.781	0.840	0.774	0.818			1

注: * 表示 0.05 水平下差异显著($r_{0.05}=0.878$), * * 表示 0.01 水平下差异极显著($r_{0.01}=0.959$)

Note: The * and * * indicate the differences are significant at 0.05 level ($r_{0.05}=0.878$) and 0.01 level($r_{0.01}=0.959$), respectively .

3 结论与讨论

保护耕作中深松覆盖和免耕覆盖可明显提高 0~10 cm 土层脲酶、转化酶和过氧化氢酶的活性, 主要是由于秸秆残茬覆盖, 增加了土壤有机质, 表土疏松, 通气性好, 微生物数量和活性增强, 土壤酶活性相应提高, 相对于传统耕作, 深松覆盖和免耕覆盖可以保护土壤避免生物退化, 并可维持土壤质量; 旱区坡耕地一次深翻由于雨季水土流失较多, 又无秸秆覆盖, 不利于土壤持续利用。

3 种酶活性与土壤肥力因子有一定的相关性, 脲酶与土壤养分含量之间存在密切的关系。脲酶活性作为评价本生态类型土壤肥力的指标, 过氧化氢酶可起辅助作用。

土壤质量指标应该具有时间性, 即在较短时间内反映出土壤质量的变化。土壤酶活性的变化常常发生在数月或 1 a 内, 因此酶活性可以比土壤有机质更早地反映出土地管理措施的影响。与单一的土壤酶活性相比, 用土壤中分布最广的酶活性的总体来表征土壤的肥力水平是可行的。有关保持耕作酶活性的总体的综合评价有待进一步研究。

参 考 文 献:

[1] 任天志,Stefano Grego.持续农业中的土壤生物指标研究[J].中国农业科学,2000,33(1):68—75.

[2] 张玉兰,陈利军,张丽莉.土壤质量的酶学指标的研究[J].土壤通报,2005,36(4):598—604.

[3] Dick R P, Myrold D D, Kerle E A. Microbial biomass and soil enzyme activities in compacted an drehabilitated akid trail soils[J]. Soil Sci Soc Am J. 1988, 52, 512—516.

[4] 吕军杰,王育红,姚宇卿.不同耕作方式对坡耕地土壤水分的影

响[J].中国农业气象,2002,10(3):39—43.

[5] 姚宇卿,吕军杰,王育红.保持耕作麦田水分动态及水土流失的研究[J].土壤肥料,2002,(5):8—10.

[6] 张 洁,姚宇卿,吕军杰,等.半湿润偏旱区坡耕地保护耕作土壤碳素转化及增产机理[J].中国农业生态学报,2008,16(2):297—301.

[7] 雷金银,吴发启,王 健,等.保护性耕作对土壤物理特性及玉米产量的影响[J].农业工程学报,2008,24(10):40—45.

[8] 张 洁,姚宇卿,吕军杰,等.坡耕地保护耕作冬小麦增产机理的研究.节水农作制度理论与技术[M].北京:中国农业科学技术出版社,2008:344—349.

[9] 关松荫.土壤酶学研究方法[M].北京:农业出版社,1986:220—249.

[10] 严昶升.土壤肥力研究方法[M].北京:农业出版社,1988:243—276.

[11] 鲍士旦.土壤农化分析[M].北京:中国农业出版社,2000:34—57.

[12] 关松荫.土壤酶与土壤肥力的关系[J].土壤肥料,1980,(2):19—20.

[13] 高云超,朱文珊,陈文新.秸秆覆盖免耕土壤微生物量与养分转化的研究[J].中国农业科学,1994,27(6):41—49.

[14] Salinas-Garcia J R, Hons F M. Long-term effects of tillage and fertilization on soil organic matter dynamics[J]. Soil Sci Soc Am J, 1997, 61, 152—159.

[15] 王 芸,韩 宾,史忠强,等.保护性耕作对土壤微生物特性及酶活性的影响[J].水土保持学报,2006,20(4):120—122.

[16] 高焕文,李问盈,李洪文.中国特色保护性耕作技术[J].农业工程学报,2003,19(3):1—4.

[17] 高旺盛.论保护性耕作技术的基本原理及发展趋势[J].中国农业科学,2007,40(12):2702—2708.

[18] 邱莉萍,刘 军,王益权,等.土壤酶活性与土壤肥力的关系研究[J].植物营养与肥科学报,2004,10(3):277—280.

[19] 孙瑞莲,赵秉强,朱鲁生,等.长期定位施肥对土壤酶活性的影响及调控土壤肥力的作用[J].植物营养与肥科学报,2003,9(4):406—410.

Effects of long-term conservation tillage on soil enzyme activity of sloping dryland and its relation to soil fertility

ZHANG Jie^{1,2}, YAO Yu-qing^{1,2}, LU Jun-jie^{1,2}, CAI Dian-xiong^{2,3}, JIN Ke³, LI Jun-hong^{1,2},
DING Zhi-qiang^{1,2}, SUN Jing-ke⁴, TAN Zun-she⁵, WU Jian-feng^{1,2}, ZHANG Shao-lan¹

(1. Luoyang Academy of Agricultural Sciences, Luoyang, He'nan 471022, China;

2. Luoyang Dryland Farming Experiment Station, CAAS, Luoyang, He'nan 471022, China;

3. Institute of Agricultural Resources and Regional Planning, CAAS, Beijing 100081, China;

4. Pingdingshan Collage of Technology, Pingdingshan, He'nan 467000, China;

5. Luoyang Bureau of Agricultural, Luoyang, He'nan 471000, China)

Abstract: In order to explore soil enzyme activity and its relation to soil fertility under the circumstances of long-term conservation tillage, determination and analysis were conducted of the soil enzyme activity and soil fertility after 7 year conservation tillage in sloping dryland of west Henan Province. The results showed that the activity of soil urease, catalase and invertase increased obviously under sub-soiling tillage and no-tillage, especially the enzyme activity in 0~10 cm soil layer, and the soil urease activity increased most. The correlation analysis of soil enzyme activity showed that there was a positive correlation between urease and the content of organic matter, total P, available P, available K and available N, between invertase and the content of total P and total K, and between catalase and the content of total P. It indicated that soil urease activity can be used as an index of soil fertility, while catalase may play an auxiliary function.

Keywords: soil; enzyme activity; nutrients; soil fertility; correlation analysis; conservation tillage; sloping field

(上接第 128 页)

Effect of green manure on soil fertility properties in summer fallow period in Weibei dryland

ZHAO Na¹, ZHAO Hu-bing¹, CAO Qun-hu², YU Chang-wei², SUN Wei¹,
LI Min¹, CAO Wei-dong³, GAO Ya-jun^{1,4}

(1. College of Resources and Environment, Northwest A & F University, Yangling, Shaanxi 712100, China;

2. Changwu Agrotechnology Extension Center, Changwu, Shaanxi 713600, China; 3. Institute of Agricultural

Resources and Regional Planning, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing 100081, China; 4. Key Laboratory

of Loess Plateau Agricultural Resources and Environmental Remediation of Ministry of Agriculture, Yangling, Shaanxi 712100, China)

Abstract: An experiment was carried out in Weibei area to investigate the effect of leguminous green manure plants (soybean, Huai bean and mungbean) on soil fertility and other properties in summer fallow period. The results showed that Huai bean and mungbean had greater biomass than soybean. Huai bean contributed the most nitrogen and potassium by incorporation into soil while soybean contributed the least. Mungbean contributed the most phosphorous to soil while soybean contributed the least. Huai bean had greater root nodules and significant higher nitrogen content than mungbean and soybean. Compared to keeping summer fallow, planting and incorporating green manure plants into soil improved the content of soil organic matter, total N and available K. No remarkable differences of CEC was found between green manure treatments and summer fallow after 4 weeks of incorporation. However, the trend was showed that green manures increased soil pH and decreased soil bulk density. There was no differences of soil pH among treatments after winter wheat harvest. Green manure plants consumed much soil water during growth period. After wheat harvest, soil water storage in 0~200 cm layer with green manure treatments was still lower than that with summer fallow treatment. No significant differences of soil properties were found among three green manure treatments. Planting and incorporating leguminous green manure plants into soil in summer fallow period is an effective way to improve soil fertility in dryland.

Keywords: dryland; leguminous green manure; soil fertility; soil property