

# 半干旱区不同作物与苜蓿轮作对土壤水分恢复与肥力消耗的影响\*

王 俊<sup>1, 2</sup> 刘文兆<sup>1</sup> 李凤民<sup>1, 3</sup>

(1 中国科学院水利部水土保持研究所, 陕西杨凌 712100)

(2 西北大学城市与资源学系, 西安 710069)

(3 兰州大学干旱与草地农业生态教育部重点实验室, 兰州 730000)

## RESPONSES OF SOIL WATER AND FERTILITY TO THE ALFALFA CROP ROTATION IN SEMIARID LOESS AREA OF CHINA

Wang Jun<sup>1, 2</sup> Liu Wenzhao<sup>1</sup> Li Fengmin<sup>1, 3</sup>

(1 Institute of Soil and Water Conservation, Chinese Academy of Sciences and Ministry of Water Resources, Yangling, Shaanxi 712100, China)

(2 Department of Urban and Resource Science, Northwest University, Xi'an 710069, China)

(3 Key Lab of Arid and Grass-Agricultural Ecology, Lanzhou University, Lanzhou 730000, China)

关键词 苜蓿; 草田轮作; 土壤水分恢复; 土壤肥力消耗; 半干旱区

中图分类号 S152.7 文献标识码 A

苜蓿-作物轮作是我国西北半干旱区常见的耕作方式。由于苜蓿的强蒸散特征<sup>[1]</sup>, 苜蓿生长多年后常导致土壤水分匮乏, 形成土壤干层<sup>[2, 3]</sup>, 对后茬作物的生长产生不利影响。根据当地轮作习惯, 苜蓿种植后通常种植一种浅根系的作物草谷子 (*Setaria italica Beauv*) 来恢复土壤水分并获取饲料, 但是这种耕种模式对土壤水分恢复的效果如何还不得知, 苜蓿草地轮作为农田后的土壤水分恢复过程需要加以明晰。由于苜蓿的生物固氮作用, 由农田轮作为苜蓿草地一般不会存在土壤肥力障碍, 并会不断提高土壤肥力水平<sup>[4]</sup>。由苜蓿草地轮作为农田, 土壤肥力一般是下降的, 但对苜蓿草地轮作为农田后土壤肥力的消耗动态, 以及不同作物对土壤肥力消耗有何影响目前还很少了解。本文研究了苜蓿-作物轮作过程中的土壤水分、氮素和有机质的变化, 旨在阐明苜蓿草地轮作为农田后的土壤水分恢复和肥力消耗过程, 探讨合理的轮作模式。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验地概况

田间试验设在甘肃省榆中县中连川乡中连川村进行(36°02'N, 104°25'E)。该地区平均海拔2345 m; 年均气温6.2℃; 年均降水量328.1 mm, 年际降水变率22.5%, 为中温带半干旱气候。作物一年一熟。试验所在地为典型的半干旱黄土丘陵沟壑区, 供试土壤为黄绵土, 田间持水量为21.18%, 凋萎湿度为7.17%, 耕层土壤(0~20 cm)土壤容重1.13 Mg m<sup>-3</sup>, 有机碳0.53 g kg<sup>-1</sup>, 全氮0.065 g kg<sup>-1</sup>, 全磷0.063 g kg<sup>-1</sup>。

试验区降水主要分布在5月至9月, 占全年总降水量的89.1%(图1)。10月至次年3月降水占全年降水比例不足6%。2001年8月18日和9月17日出现两次30.0 mm左右的强降水过程, 但全年降水偏少, 较历年平均低45.5 mm。2002年雨水充足, 超过30.0 mm的降水过程出现了5次, 试验期内降水较历年平均增加了约76.0 mm。

\* 国家重点基础研究发展规划项目(2005CB121102)和国家自然科学基金项目(30500077)资助

作者简介: 王 俊(1974~), 男, 河南虞城人, 博士, 主要从事农业生态学研究。电话: 029-88308427, E-mail: wangj@nwu.edu.cn

收稿日期: 2005-08-25; 收到修改稿日期: 2006-04-11

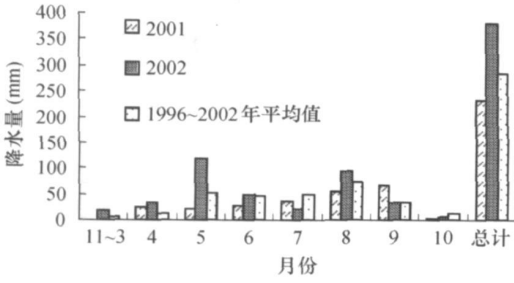


图1 试验区降水情况

### 1.2 试验设计与测定

在半干旱地区, 苜蓿在生长 7~ 8 a 后会进入生理衰退期。本文选择了一块已种植 10 a 的紫花苜蓿草地作为试验样地, 由于管理良好, 苜蓿尚未进入衰退期, 生物产量仍维持了较高水平。在 2000 年秋季收获后, 将部分面积(400 m<sup>2</sup>)的苜蓿草地翻耕, 2001 年 4 月 30 日种植草谷子(只收获谷草, 不收籽粒), 设为苜蓿-草谷子处理, 未被翻耕部分作为苜蓿草地对照。2002 年对照处理继续种植苜蓿; 苜蓿-草谷子处理被均分 4 份, 其中 1 份进行完全休耕, 另 3 份分别种植玉米(*Zea mays*)、马铃薯(*Solanum tuberosum*)和春小麦(*Triticum aestivum*)。小麦、玉米、马铃薯分别于 4 月 4 日、5 月 1 日和 5 月 2 日播种, 8 月 2 日、9 月 25 日和 9 月 28 日收获。所有处理均没有施肥, 设有 3 个小区作为 3 次重复, 随机区组设计, 每小区面积 30 m<sup>2</sup>。

土壤水分采用土钻重量法测定, 每隔 0.2 m 测至 2 m, 每小区 3 次重复。生长季土壤水分恢复量(SWR<sub>g</sub>)计算为当年 10 月与 4 月土壤储水量差值, 年际土壤水分恢复量(SWR<sub>y</sub>)计算为当年 10 月与前

一年 10 月土壤储水量差值。

在生长季初(4 月 15 日)和生长季末(10 月 15 日)从各处理小区采集耕层(0~ 0.2 m)土壤样品, 3 次重复, 风干、过筛测定土壤氮素和有机质。有机质测定用重铬酸钾容量法- 外加热法。全氮测定用半微量凯氏定氮法, 先用浓硫酸充分消煮样品后用凯氏定氮仪(Kjeltec Auto 1030 Analyzer, 瑞典 FOSS TECATOR 公司制造)进行定氮分析。NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N 和 NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N 用 2 mol L<sup>-1</sup> KCl 浸提后用流动注射分析仪(FIAstar 5000 Analyzer, 瑞典 FOSS TECATOR 公司制造)测定。

### 1.3 数据统计与分析

试验数据采用 SAS(6.12)统计软件(PROC ANOVA)进行分析。

## 2 结果分析

### 2.1 土壤水分动态与恢复

与苜蓿草地相比, 2001 年除季初和 8 月底外, 其他时间草谷子地土壤水分均高于苜蓿草地(图 2)。2002 年苜蓿草地土壤水分 5 月中旬与休闲地及 8 月中旬与轮作春小麦相比没有显著差异, 其他时间均低于轮作处理。轮作玉米地土壤含水量在 8 到 9 月份间出现明显下降, 9 月 12 日和 10 月 13 日两次测定均显著低于轮作春小麦和轮作马铃薯两个处理。麦田土壤水分自 5 月中旬至 7 月中旬持续下降, 8 月初春小麦收获后水分逐渐回升。与轮作玉米和小麦相比, 轮作休闲和种植马铃薯在试验期间土壤水分动态与降水更为吻合。

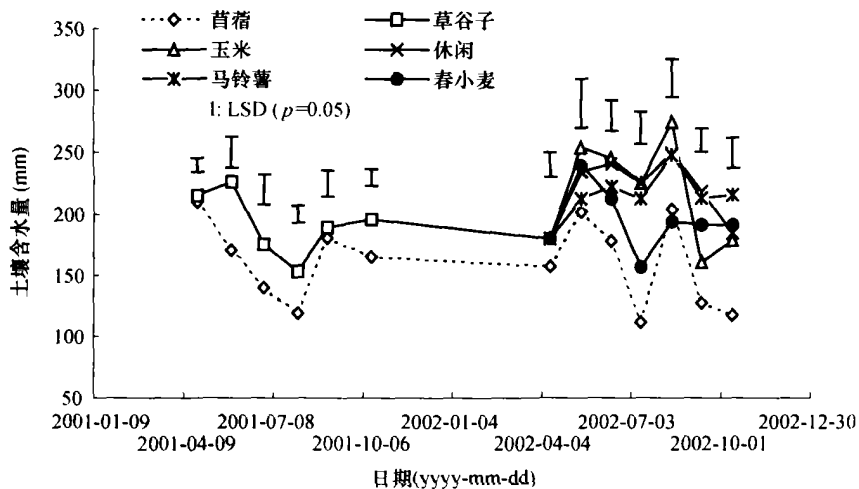


图2 苜蓿草地与轮作农田的土壤水分动态

在 2001 年 4 月苜蓿草地和草谷地土壤储水量没有差异(表 1), 10 月草谷子地高于苜蓿草地, 两个处理生长季土壤水分恢复( $SWR_g$ )均呈负效应, 分别为 $-44.6$  mm 和 $-18.8$  mm。2002 年苜蓿草地的生长季土壤水分恢复为 $-40.0$  mm, 与前一年类似。轮作处理的土壤储水量在 4 月和 10 月两次测定中平均分别比苜蓿草地多出 22.3 mm 和 75.0 mm, 轮作马铃薯、春小麦、休闲和

玉米各处理的土壤水分恢复分别为 36.0 mm、11.0 mm、5.0 mm 和 $-1.3$  mm( $p < 0.05$ )。

年际土壤水分恢复( $SWR_y$ )结果表明, 自 2001 年 10 月至 2002 年 10 月只有轮作马铃薯处理土壤水分得到了有效恢复。轮作玉米和休闲处理均出现了较大的水分亏缺, 而轮作小麦基本持平。苜蓿草地的  $SWR_y$  为 $-47.6$  mm, 表明随着苜蓿草地生长年限的延长土壤水分持续下降。

表 1 不同处理 0~2 m 土层土壤储水量和土壤水分恢复量

年份	处 理	土壤储水量		生长季土壤水分	年际土壤水
		4 月	10 月	恢复 $SWR_g^{1)}$	分恢复 $SWR_y^{2)}$
2001	苜蓿- 苜蓿	209.6	165.0	-44.6	—
	苜蓿- 草谷子	214.7	195.9	-18.8	—
	LSD ( $p = 0.05$ )	N. S. <sup>3)</sup>	16.2	4.5	
2002	苜蓿- 苜蓿- 苜蓿	157.4	117.4	-40.0	-47.6
	苜蓿- 草谷子- 玉米	179.7	178.4	-1.3	-17.5
	苜蓿- 草谷子- 休闲	179.7	184.6	4.9	-11.3
	苜蓿- 草谷子- 马铃薯	179.7	215.7	36.0	19.8
	苜蓿- 草谷子- 春小麦	179.7	191.0	11.3	-4.9
	LSD ( $p = 0.05$ )	20.1	24.2	5.2	5.8

1)  $SWR_g$ : 当年 10 月与 4 月土壤储水量差值; 2)  $SWR_y$ : 当年 10 月份与前年 10 月份土壤储水量差值; 3) N. S.: 处理间差异不显著

## 2.2 土壤氮素

土壤氮素结果(表 2)显示, 2001 年 4 月两个处理土壤全氮含量无差异, 10 月苜蓿- 草谷子处理低于苜蓿连作。2002 年两次测定轮作处理土壤全氮含量均低于 11 年生苜蓿草地。10 月结果表明轮作玉米和马铃薯处理的土壤全氮显著低于轮作春小麦

和休闲处理。经过一个生长季, 轮作玉米全氮含量下降了 $36.1$   $mg\ kg^{-1}$ , 轮作马铃薯基本持平, 轮作春小麦和休闲则分别增加了 $61.3$   $mg\ kg^{-1}$ 和 $55.4$   $mg\ kg^{-1}$ , 这表明在苜蓿草地翻耕后第二年, 与轮作春小麦和休闲相比, 轮作玉米不利于保持土壤全氮的平衡。

表 2 不同处理土壤耕层全氮和矿质氮含量

年份	处 理	全氮 ( $mg\ kg^{-1}$ )		矿质氮( $mg\ kg^{-1}$ )		矿质氮/全氮(%)	
		4 月	10 月	4 月	10 月	4 月	10 月
2001	苜蓿- 苜蓿	419.3	466.8	45.1	47.5	10.7	10.2
	苜蓿- 草谷子	392.0	405.0	43.0	51.3	11.0	12.7
	LSD ( $p = 0.05$ )	N. S. <sup>1)</sup>	30.0	N. S.	N. S.	N. S.	0.9
2002	苜蓿- 苜蓿- 苜蓿	359.7	372.2	32.5	41.6	9.0	11.2
	苜蓿- 草谷子- 玉米	276.8	240.7	44.4	45.8	16.1	19.7
	苜蓿- 草谷子- 休闲	276.8	332.2	44.4	53.4	16.1	16.8
	苜蓿- 草谷子- 马铃薯	276.8	281.3	44.4	42.5	16.1	15.3
	苜蓿- 草谷子- 春小麦	276.8	338.1	44.4	54.2	16.1	16.1
	LSD ( $p = 0.05$ )	30.2	45.3	4.4	4.4	1.7	3.0

1) N. S.: 处理间差异不显著

2001年两个处理间的土壤矿质氮没有差异。2002年轮作处理土壤矿质氮含量均高于苜蓿连作。不同轮作处理中种植春小麦和休闲在10月测定中高于种植玉米和马铃薯。经过一个生长季,轮作马铃薯和玉米处理土壤矿质氮变化不大,而轮作春小麦、休闲和苜蓿连作则均有超过 $9\text{ mg kg}^{-1}$ 的季节性积累。表2以土壤总矿质氮量与全氮量的比值来反映土壤氮素活化率,结果表明苜蓿草地轮作后土壤氮素活化程度显著提高,在轮作第二年不同轮作处理中以轮作玉米氮素活化率最高。

### 2.3 土壤有机质和 C/N

与苜蓿连作相比,轮作为农田导致土壤有

机质含量迅速下降(表3)。2001年的两次测定中草谷子地土壤有机质含量平均比苜蓿草地低了46.8%。2002年结果类似,苜蓿草地土壤有机质含量最高,轮作处理较苜蓿连作处理两次测定平均下降了28.1%。从不同轮作处理10月测定结果看,轮作玉米土壤有机质含量最低,轮作春小麦最高,二者差异显著,表明轮作第二年种植春小麦可以较种植玉米降低对土壤有机质的消耗。2001年4月测定两个处理C/N没有差异,10月和2002年4月测定苜蓿草地的C/N高于轮作处理。最后一次测定中不同处理间没有显著差异。

表3 不同处理土壤耕层有机质含量和 C/N

年份	处理	土壤有机质( $\text{g kg}^{-1}$ )		C/N	
		4月	10月	4月	10月
2001	苜蓿-苜蓿	12.0	42.6	16.6	53.0
	苜蓿-草谷子	14.7	13.3	21.7	23.4
	LSD ( $p = 0.05$ )	1.5	8.4	N.S. <sup>1)</sup>	5.9
2002	苜蓿-苜蓿-苜蓿	12.4	12.9	20.0	20.1
	苜蓿-草谷子-玉米	8.1	7.6	17.0	18.3
	苜蓿-草谷子-休闲	8.1	9.1	17.0	15.8
	苜蓿-草谷子-马铃薯	8.1	8.6	17.0	17.8
	苜蓿-草谷子-春小麦	8.1	10.3	17.0	17.6
	LSD ( $p = 0.05$ )	1.6	1.9	2.2	N.S.

1) N. S. : 处理间差异不显著

## 3 讨论与结论

### 3.1 土壤水分

在半干旱地区,将苜蓿引入轮作制度,实施草田轮作的主要限制因素在于苜蓿长期种植引起的土壤干燥化<sup>[2, 3]</sup>。李玉山<sup>[2]</sup>研究表明,多年连续种植苜蓿会导致土壤干燥化,形成生物性土壤下伏干层,从而对陆地水分循环路径发生影响。本文中生长超过10年的苜蓿草地土壤水分含量在试验期间持续下降也证实了这一点。与苜蓿连作相比,轮作处理具有更好的水分状况,表明合理轮作对解决苜蓿种植导致的土壤水分亏缺问题具有重要作用。

山仑等<sup>[5]</sup>、刘忠民等<sup>[6]</sup>在宁南山区的研究认为,随种植年限的加长,苜蓿草地上层水分可以逐渐得到恢复,故苜蓿后茬可以种植抗旱性较强的谷类作物。苜蓿翻耕后种植草谷子是试验所在地区农民通

常采用的种植方式,以期达到恢复土壤水分和提供饲料的目的。但是本文结果表明,种植草谷子对土壤水分的恢复具有负面效应,土壤水分储存经过一个生长季有所下降。造成这一结果的原因可能在于草谷子生长季较长,占据了整个雨季,降水全部被利用,还吸收了部分土壤水分。

苜蓿轮作第二年休闲和种植不同作物对土壤水分恢复具有显著影响。由于强烈的地表蒸发,与作物种植相比夏季休闲不利于土壤水分恢复。从不同作物看,玉米对水分的利用可以持续到9月底,但玉米较高的蒸散量导致土壤水分迅速下降。即使在降水充分的2002年,玉米地的土壤水分恢复仍为负值,表明在苜蓿-作物轮作系统中种植玉米对土壤水分恢复而言是不利的。与玉米和马铃薯相比,春小麦收获期提前了近两个月。由于小麦生育期结束时雨季尚未结束,一般认为春小麦前期的水分消耗可以通过上一年度的降水加以补充,即麦收隔年

墒<sup>[7]</sup>。然而本文中春小麦生育期结束时土壤水分含量与 10 月测定结果几乎相同(图 2), 这表明由于地表蒸发, 小麦收获后两个月的休闲期中土壤水分并没有得到恢复。马铃薯地的土壤水分年内和年际恢复量均为正值, 表明从土壤水分恢复角度而言苜蓿种植后以轮作马铃薯为宜。

### 3.2 土壤肥力

由于耕作过程增加了对土壤的干扰, 苜蓿草地轮作为农田后土壤全氮和有机质会迅速下降, 土壤退化过程加速<sup>[8]</sup>。本文轮作处理土壤 C/N 在 15.8 到 20.1 之间, 有利于土壤微生物体碳的快速累积, 相应地导致土壤有机质的完全分解以释放更多的矿质氮<sup>[9]</sup>。土壤全氮、有机质的下降和矿质氮累积结果证明了这点, 因此有必要选择合适的轮作方式来维持土壤肥力平衡。

轮作第二年种植玉米与种植春小麦对土壤氮素和有机质的影响显著不同, 种植马铃薯和休闲则处于二者之间。玉米与其他作物相比, 生物学产量较高, 对土壤养分消耗相应较大, 种植玉米后土壤全氮和有机质含量均迅速下降, 而种植春小麦从生长季平衡看则维持了较高的土壤养分含量, 土壤全氮、矿质氮和有机质均出现季节性增加。这表明在没有任

何外源性养分输入的情况下, 多年生苜蓿草地轮作农田第二年以种植春小麦为宜, 而应避免种植玉米等耗肥量较大的作物。

### 参 考 文 献

- [ 1 ] 李凤民, 张振万. 宁夏盐池长芒草和苜蓿人工草地水分利用研究. 植物生态与地植物学报, 1991, 15(4): 319~ 329
- [ 2 ] 李玉山. 苜蓿生产力动态及其水分生态环境效应. 土壤学报, 2002, 39(3): 404~ 411
- [ 3 ] 杨文治, 田均良. 黄土高原土壤干燥化问题探源. 土壤学报, 2004, 41(1): 1~ 6
- [ 4 ] 党廷辉. 黄土旱塬区轮作培肥试验研究. 土壤侵蚀与水土保持学报, 1998, 4(3): 44~ 47
- [ 5 ] 山仑, 刘忠民, 辛业权, 等. 宁夏山区草田轮作研究: I. 不同轮作方式的生产力及效益. 水土保持学报, 1992, 6(4): 60~ 68
- [ 6 ] 刘忠民, 山仑, 邓西平, 等. 宁夏山区草田轮作研究: II. 不同轮作制度下的农田水分平衡. 水土保持学报, 1993, 7(4): 67~ 71
- [ 7 ] 张源沛, 张益明, 周会成. 半干旱地区春小麦不同种植方式土壤水分变化规律研究初探. 土壤, 2003, 35(2): 168~ 170
- [ 8 ] Yang X M, Kay B D. Rotation and tillage effects on soil organic carbon sequestration in a typic Hapludalf in Southern Ontario. Soil and Tillage Research, 2001, 59:107~ 114
- [ 9 ] 黄昌勇. 土壤学. 北京: 中国农业出版社, 2000