

doi:10.7668/hbnxb.2014.05.031

# 苜蓿轮作玉米后不同种植年限玉米生育后期叶片衰老特性

田立双<sup>1</sup>, 张玉芹<sup>1</sup>, 杨恒山<sup>1</sup>, 毕文波<sup>1</sup>, 刘志雄<sup>2</sup>

(1. 内蒙古民族大学 农学院, 内蒙古 通辽 028042; 2. 内蒙古农牧业科学院, 内蒙古 呼和浩特 010031)

**摘要:**为探讨苜蓿轮作玉米后不同种植年限玉米生育后期叶片衰老特性,以金山27为试材,紫花苜蓿地为前茬,连续4年采用同一高产栽培方案种植玉米,吐丝期开始,每10 d 1次,测定不同层位叶片叶绿素、丙二醛(MDA)含量和超氧化物歧化酶(SOD)、过氧化物酶(POD)活性。结果表明:苜蓿轮作玉米后,玉米产量随玉米种植年限的增加而降低,与种植玉米第一年相比,第二、三、四年产量分别下降了9.7%、13.6%和19.1%。苜蓿轮作玉米后,不同种植年限玉米吐丝后叶片衰老速率随玉米种植年限的增加而增加,且随生育进程差异增加。不同生育时期和层位春玉米叶片叶绿素含量随玉米种植年限增加而下降,吐丝后20 d到叶丝后40 d差异达显著水平,尤以穗位叶为甚。不同生育时期和层位叶片SOD和POD活性随玉米种植年限的递增均呈下降趋势,不同年限间SOD、POD活性随生育进程差异逐渐增加。不同生育时期和层位玉米叶片MDA含量随玉米种植年限增加而增加,且随生育进程差异增大,穗位叶最为明显。苜蓿轮作玉米后,随玉米种植年限的增加,玉米产量下降,生育后期叶片SOD、POD活性降低,MDA含量升高,叶片衰老速率增大,尤以穗位叶为甚。

**关键词:**苜蓿轮作玉米;种植年限;生育后期;叶片衰老

**中图分类号:**S513 **文献标识码:**A **文章编号:**1000-7091(2014)05-0180-06

## The Characteristics of Leaf Senescence of Different Cultivation Years Maize of Alfalfa-maize Rotation at Late-growth

TIAN Li-shuang<sup>1</sup>, ZHANG Yu-qin<sup>1</sup>, YANG Heng-shan<sup>1</sup>, BI Wen-bo<sup>1</sup>, LIU Zhi-xiong<sup>2</sup>

(1. Agricultural College, Inner Mongolia University for Nationalities, Tongliao 028042, China;

2. Inner Mongolia Academy of Agricultural and Animal Husbandry Sciences, Huhhot 010031, China)

**Abstract:** To inquire the characteristics of leaf senescence of different cultivation years maize of alfalfa-maize rotation. The Jinshan 27 was grown under 4-year high-yielding cultivation maize in preceding of 7-growth-year alfalfa. After silking, content of chlorophyll, MDA content, SOD and POD activity were measured every 10 days. The yield of maize of alfalfa-maize rotation was decreased with tillage years prolonged, compared with the first year, the yield of second, third and fourth felled 9.7%, 13.6% and 19.1%, respectively. Leaf senescence rate of maize of different cultivation years were increased with tillage years prolonged, and the difference was decreased with tillage years prolonged. The content of chlorophyll of leaf of maize of different cultivation years was significant different at different stage and different leaf position from 20 days to 40 days after the silking, and were decreased with tillage years prolonged, and three-ear leaves was more obvious. The SOD and POD activity of leaf maize of different cultivation years were decreased with tillage years prolonged, and the difference of SOD and POD activity of leaf were increased with the growing process. The MDA content of maize of different cultivation years was increased with tillage years prolonged, and different of maize of different cultivation years were increased with the growing process, and three-ear leaves were more obvious. The yield of maize of alfalfa-maize rotation was decreased with tillage years prolonged, the SOD and POD activity of leaf were decreased, and the MDA content was increased at late-growth, and

收稿日期:2013-08-11

基金项目:国家科技支撑计划项目(2012BAD04B00);内蒙古自治区高等学校科学研究项目(NJZY12124);内蒙古民族大学校级课题(NMD1217);内蒙古民族大学博士科研启动项目(S265)

作者简介:田立双(1978-),女,内蒙古奈曼人,讲师,硕士,主要从事玉米高产栽培的研究。

three-ear leaves were more obvious.

**Key words:** Alfalfa-maize rotation; Cultivation years; Late-growth; Leaf senescence

苜蓿根系具有很强的根瘤固氮作用<sup>[1]</sup>, 适合轮作粮食作物, 提高产量<sup>[2-7]</sup>, 且苜蓿与粮食作物轮作对改良土壤<sup>[8-9]</sup>、恢复生态环境、实现农业可持续发展及发展低碳农业具有重要意义。关于苜蓿与玉米轮作, 前人研究主要集中在轮作后作物产量<sup>[4,10]</sup>、土壤水分恢复效应<sup>[11-13]</sup>、土壤有机质及土壤养分<sup>[14-17]</sup>等方面。叶片是玉米进行光合作用的主要器官, 生育中后期叶片衰老将限制作物产量潜力的发挥<sup>[18]</sup>, 关于苜蓿轮作玉米后, 在连作玉米的条件下, 玉米植株生育后期叶片衰老特性的研究尚未见报道。

西辽河平原具有大面积实现玉米高产的光温潜力, 种植面积稳定在 60 万  $\text{hm}^2$  左右, 平均单产较全国平均单产高 40% 以上。目前, 由于玉米多年连作致使地力下降、养分偏耗, 大量施用化肥不仅造成生产成本增加, 而且增加了生态环境的压力, 培肥地力已成为实现玉米持续高产必须解决的问题<sup>[19]</sup>。通辽地区冬季气温低, 全年平均降水量少, 秸秆还田后腐烂分解缓慢, 直接影响第二年玉米的出苗和产量; 粪肥还田虽然有效, 但受肥源的制约, 培肥面积有限。近年来, 随着草产业和奶牛业的发展, 苜蓿种植面积逐年扩大, 苜蓿玉米轮作成为可能。因此, 研究苜蓿轮作玉米后不同种植年限玉米生育后期叶片衰老特性, 对延缓高产玉米生育后期早衰及苜蓿-玉米轮作制的建立具有重要意义。

## 1 材料和方法

### 1.1 试验地概况

试验分别于 2009–2012 年在内蒙古民族大学试验农场进行。试验地土壤为灰色草甸土, 为当地主要土壤类型。试验区年均气温  $6.8\text{ }^{\circ}\text{C}$ , 平均无霜冻期 154 d,  $\geq 10\text{ }^{\circ}\text{C}$  活动积温  $3\ 200\text{ }^{\circ}\text{C}$ , 年均降水量 399 mm, 生长季内 (4–9 月) 降水量占全年降水量的 89%。播前耕层土样养分含量为: 有机质 22.3 g/kg, 全氮 0.95 g/kg, 碱解氮 79.51 mg/kg, 速效磷 13.42 mg/kg, 有效钾 112.41 mg/kg。

### 1.2 试验设计

试验田前茬为 7 龄紫花苜蓿地, 面积  $1\ 200\text{ m}^2$ , 2008 年秋季翻耕灭茬, 2009–2012 年按同一试验方案 (高产栽培方案) 连续 4 年种植玉米。以金山 27 为供试品种, 密度为 9.0 万株/ $\text{hm}^2$ , 等行距种植, 行距 50 cm; 磷、钾肥施量分别为  $\text{P}_2\text{O}_5$  170 kg/ $\text{hm}^2$ 、

$\text{K}_2\text{O}$  250 kg/ $\text{hm}^2$ , 且一次性基施; 氮肥施量为 N 375 kg/ $\text{hm}^2$ , 在拔节期、大喇叭口期和抽雄期按 3:6:1 的比例追施; 生育期间共灌水 4 次。

### 1.3 测定项目与方法

**1.3.1 叶片衰老速率** 吐丝期后 0, 10, 20, 30, 40 d, 每小区选取具有代表性植株 5 株, 3 次重复, 于 9:00 时测定其叶面积; 单叶叶面积 = 长  $\times$  宽  $\times$  系数 (未展开叶片系数为 0.5, 展开叶片系数为 0.75)。叶片衰老速率 =  $(1 - \text{绿色叶面积} / \text{最大叶面积}) \times 100\%$ 。

### 1.3.2 SOD、POD 活性、MDA 和叶绿素含量测定

吐丝后 0, 10, 20, 30, 40 d, 9:00 时每小区选取具有代表性植株的穗位上层叶 (穗上第四叶)、穗位叶及穗位下层叶 (穗下第四叶) 各 5 片, 及时放入冰盒带回实验室, 洗净叶片表面的尘土和污物并用吸水纸小心擦干。

叶绿素含量测定: 用打孔器取叶片的中部, 采用乙醇: 丙酮: 水 = 4.5:4.5:1.0 体积混合法, 提取叶绿素 24 h, 在波长 663, 645 nm 下测量吸光度, 按照 A<sub>mon</sub> 公式计算叶绿素总含量<sup>[20]</sup>。

酶活性测定: 叶片去除叶脉, 取叶片同一部位进行酶活性和 MDA 含量的测定。SOD 活性用 NBT 光化还原法<sup>[21]</sup>, POD 活性用愈创木酚法<sup>[22]</sup>测定, MDA 含量用硫代巴比妥酸法<sup>[23]</sup>测定。

**1.3.3 产量及产量构成因素** 各小区测产面积为 30  $\text{m}^2$ , 人工脱粒后测鲜粒重和含水率, 并折算成含水率为 14% 的产量。同时, 测定各小区内有效穗数, 并分别取 10 穗测定穗粒数及千粒质量 (折算 14% 含水率)。

**1.3.4 数据处理** 运用 Excel 软件进行数据的录入、计算与作图; 运用 SPSS 等软件进行统计分析。

## 2 结果与分析

### 2.1 叶片衰老速率

苜蓿轮作玉米后, 不同种植年限玉米吐丝后叶片衰老速率随玉米种植年限的增加而加速。不同年限间差异随生育进程逐渐加大, 吐丝后 40 d 达最大, 种植玉米第一年分别较第二、三、四年降低 10.4%, 18.4% 和 32.9% (表 1)。

### 2.2 叶片叶绿素含量

玉米叶片衰老过程中最明显的表现是叶绿素的逐渐消失<sup>[24]</sup>, 导致叶片由绿变黄。因此, 常用叶绿素含量作为叶片衰老开始的标志。苜蓿轮作玉米

后,不同生育时期和层位春玉米叶片叶绿素含量随玉米种植年限增加而呈下降趋势,吐丝 20~40 d 差异达显著水平,且不同年份间叶片叶绿素含量差异随生育进程而增大,尤以穗位叶为甚。吐丝后 40 d,与种植玉米第一年相比,种植玉米第二、三、四年穗

位上层叶叶绿素含量分别低 14.2%、19.2% 和 21.5%;穗位叶叶绿素含量分别低 15.9%、21.5% 和 22.6%;穗位下层叶叶绿素含量分别低 10.5%、12.5% 和 20.3% (表 2)。

表 1 苜蓿轮作玉米后玉米叶片衰老速率

Tab. 1 Content of chlorophyll of different leaf layers of maize of alfalfa-maize rotation %					
种植年限 Years of plant maize	吐丝后天数/d Days after silking				
	0	10	20	30	40
第一年 First year	0.200	0.278	0.330	0.405	0.423
第二年 Second year	0.212	0.300	0.339	0.436	0.467
第三年 Third year	0.227	0.314	0.379	0.467	0.501
第四年 Fourth year	0.238	0.344	0.426	0.531	0.562

表 2 苜蓿轮作玉米后玉米不同层位叶片叶绿素含量

Tab. 2 Content of chlorophyll of different leaf layers of maize of alfalfa-maize rotation $\mu\text{g/g}$						
叶位 Different leaf layers	种植年限 Years of plant maize	吐丝后天数/d Days after silking				
		0	10	20	30	40
穗位上层叶 Top ear leaves	第一年	1 479.27a	1 432.69a	1 312.94a	1 193.17a	1 089.11a
	第二年	1 452.59a	1 401.22a	1 265.15b	1 044.97b	934.23b
	第三年	1 465.11a	1 399.25a	1 213.03c	1 002.33c	880.33c
	第四年	1 430.91a	1 324.54a	1 200.20d	952.27d	855.12d
穗位叶 Ear leaves	第一年	1 577.39a	1 498.26a	1 435.19a	1 308.06a	1 209.09a
	第二年	1 555.57a	1 450.51a	1 377.33b	1 203.15b	1 017.18b
	第三年	1 539.44a	1 431.27a	1 341.35c	1 157.16c	949.01c
	第四年	1 494.85a	1 409.83a	1 293.12d	1 136.16d	935.26d
穗位下层叶 Under ear leaves	第一年	1 492.07a	1 395.25a	1 303.16a	1 117.49a	1 041.42a
	第二年	1 456.21a	1 354.81a	1 234.97b	1 022.06b	932.00b
	第三年	1 444.87a	1 316.11a	1 170.35a	959.64c	911.33c
	第四年	1 422.20a	1 318.29a	1 132.27b	915.62d	829.62d

注:不同小写字母表示差异达到 0.01 显著水平,不同年限间比较。

Note: Different small letters show significantly different at the 0.01 probability levels, the same item compare between different years.

### 2.3 叶片 SOD 活性

SOD 是细胞内防御系统的关键酶,它的活性高低标志着植物细胞自身抗衰老能力的强弱<sup>[25]</sup>。苜蓿轮作玉米后,不同生育时期和层位叶片 SOD 活性随玉米种植年限的递增均呈下降趋势。不同年限间

玉米叶片 SOD 活性随生育进程差异逐渐增加,吐丝后 40 d,与种植玉米第一年相比,种植玉米第二、三、四年穗位上层叶 SOD 活性分别低 4.7%、8.2% 和 12.8%;穗位叶 SOD 活性分别低 5.4%、9.8% 和 14.3%;穗位下层叶 SOD 活性分别低 4.1%、9.2% 和 15.9% (图 1)。

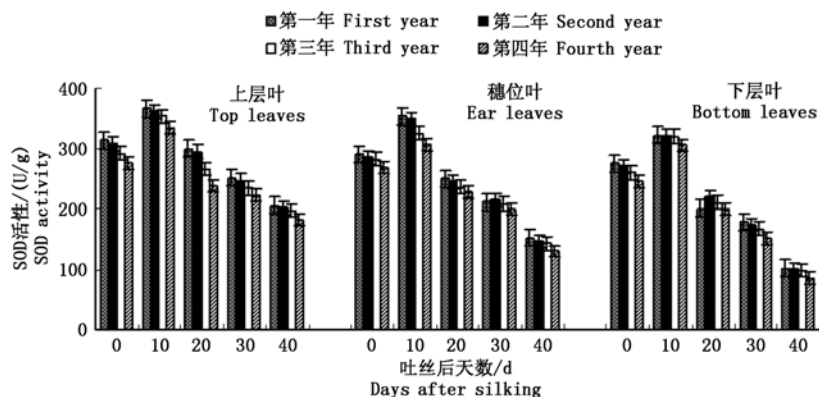


图 1 苜蓿轮作玉米后玉米不同层位玉米叶片 SOD 活性

Fig. 1 The change of SOD activity of different leaf layers of maize of alfalfa-maize rotation

2.4 叶片 POD 活性

苜蓿轮作玉米后,叶片 POD 活性与 SOD 活性总体趋势一致。吐丝后 40 d,与种植玉米第一年相比,种植玉米第二、三、四年穗位上层叶 POD 活性分

别低 5.1% ,7.9% 和 11.8% ;穗位叶 POD 活性分别低 6.0% ,10.3% 和 15.2% ;穗位下层叶 POD 活性分别低 4.9% ,8.7% 和 13.7% (图 2)。

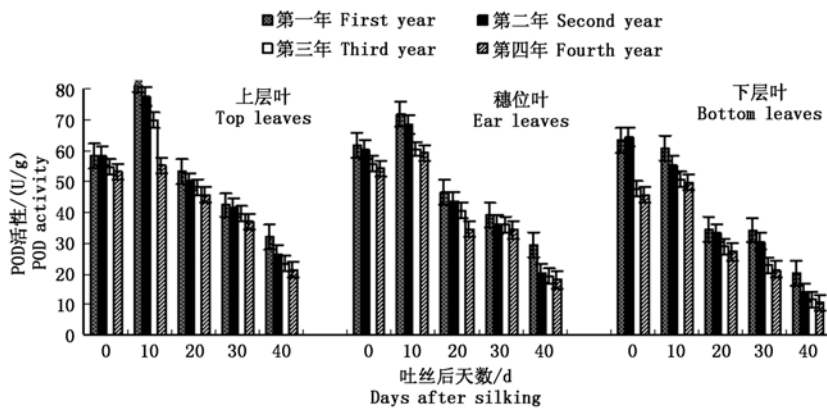


图 2 苜蓿轮作玉米后玉米不同层位玉米叶片 POD 活性

Fig. 2 The change of POD activity of different leaf layers of maize of alfalfa-maize rotation

2.5 叶片 MDA 含量

MDA 是膜脂过氧化作用的主要产物之一,其含量可表示细胞膜系统结构和功能受伤害的程度<sup>[21]</sup>, MDA 含量低,说明叶片衰老缓慢。苜蓿轮作玉米后,玉米叶片 MDA 含量随玉米种植年限增加而增

加,从不同层位叶片 MDA 含量来看,穗位叶 MDA 含量差异最大,且随生育进程差异增加,至吐丝后 40 d 达最大,与种植玉米第一年相比,种植第二、三、四年穗位叶叶片 MDA 含量分别增加 8.4% ,11.3% 和 19.3% (图 3)。

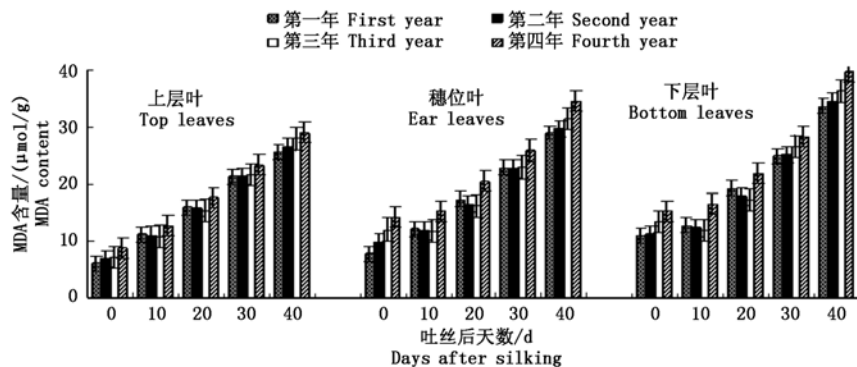


图 3 苜蓿轮作玉米后玉米不同层位玉米叶片 MDA 含量变化

Fig. 3 The change of MDA content of different leaf layers of maize of alfalfa-maize rotation

2.6 产量及其构成

由表 3 可知,苜蓿轮作玉米后,玉米穗粒数、千粒质量和产量随玉米种植年限的增加而降低。第一、二、三年玉米产量与第四年玉米产量差异达到极显著水平;与第一年相比,第二、三、四年产量分别下降了

9.7% ,13.6% 和 19.1% 。第一、二年的千粒质量与第三、四年的差异达到显著水平;第二、三、四年的穗粒数与第一年达到显著水平。不同年限间有效穗数除第一年与第三年外差异显著,种植玉米第二年 > 种植玉米第三年 > 种植玉米第一年 > 种植玉米第四年。

表 3 苜蓿轮作玉米后玉米产量及其构成

Tab. 3 Yield and its components of maize of alfalfa-maize rotation

种植年限 Years of plant maize	籽粒产量/(t/hm <sup>2</sup> ) Yield	有效穗数/(万穗/hm <sup>2</sup> ) Effective spike	穗粒数 Grains per spike	千粒质量/g 1000-kernel weight
第一年 First year	17.558aA	8.682 ± 0.22bA	579.0aA	351.2aA
第二年 Second year	15.861bB	8.984 ± 0.24aA	546.1bA	337.2bA
第三年 Third year	15.171cB	8.766 ± 0.31bA	542.0bA	325.9cA
第四年 Fourth year	14.195dD	8.582 ± 0.24cA	539.1bA	321.3cA

注:不同大小写字母表示差异达到 0.01 和 0.05 显著水平,不同年限间比较。  
Note:The different capital letters and small letters show significantly different at the 0.01 and 0.05 probability levels,the same item compare between different years.

### 3 结论与讨论

#### 3.1 苜蓿轮作玉米后玉米种植年限对其生育后期叶片衰老的影响

李潮海等<sup>[26-27]</sup>指出,不同质地土壤玉米的叶片衰老表现不同,中壤玉米叶面积和 SOD 活性最高,砂壤则最小;MDA 含量砂壤最大,中壤最小。下层土壤容重对玉米生育后期叶片衰老的生理效应有较明显的影响,容重越大,玉米生育后期叶片衰老速度越快,SOD 活性降低越多,MDA 含量增加越多。苜蓿与禾本科作物轮作,土壤有机质、土壤结构、土壤理化性质等均有不同程度变化,刘沛松等<sup>[28]</sup>指出,紫花苜蓿 3~22 年生期间,0~100 cm 土壤容重减少了 0.213 g/cm<sup>3</sup>,孔隙度增加 8.03%。不同轮作方式下的第三年春小麦产量及土壤养分、pH 值、酶活性各指标间差异性达到显著水平,0~60 cm 土层有机质、全氮、碱解氮和速效钾平均含量均下降<sup>[29]</sup>。所以苜蓿轮作玉米后,对叶片衰老特性必然有不同程度影响。本研究中,7 龄紫花苜蓿轮作玉米后,玉米叶片叶绿素含量、SOD 活性和 POD 活性均随玉米种植年限增加而下降,MDA 含量随玉米种植年限增加而增加,且随生育进程差异增大,尤以棒三叶为甚。说明苜蓿轮作玉米后,随玉米种植年限的增加,玉米生育后期叶片衰老加快。

#### 3.2 苜蓿轮作玉米后对玉米产量的影响

大量研究表明,苜蓿茬可提高玉米产量 20.0%~206.8%<sup>[2-7,30]</sup>,一般随着苜蓿种植年限延长,后茬作物产量也越高<sup>[7]</sup>。Triplett 等<sup>[31]</sup>报道,3 年生苜蓿地翻耕种植玉米,在第一年有增产作用,第二、三年对增产无显著影响。Tucker 等<sup>[32]</sup>研究认为,苜蓿后茬产量第一年低于第二、三年,以第二年产量最高。彭敏林<sup>[33]</sup>研究指出,种植 30 年的苜蓿翻耕后的农田连续 2 年玉米的产量显著低于常规农田。Stickler 等<sup>[34]</sup>研究表明,苜蓿后茬种植玉米当年产量低于翌年;刘成龙等<sup>[2]</sup>表明,苜蓿后茬种植的玉米产量随着玉米连作年限的增加,增产效应出现递减。本研究表明,苜蓿种植 7 年翻耕后种植玉米,第一年产量最高(17.558 t/hm<sup>2</sup>),第二、三、四年较第一年玉米产量分别降低了 9.7%、13.6% 和 19.1%。表明苜蓿对后茬玉米的增产效应随玉米连作年限的增加而减弱。

#### 参考文献:

[1] 鲁鸿佩,孙爱华. 草田轮作对粮食作物的增产效应[J]. 草业科学,2003,20(4):10-13.

[2] 刘成龙,王 静,郭亚男. 草田轮作粮食增产效果分析[J]. 内蒙古农业科技,2007(6):58,61.

[3] 山 仑,刘忠民,辛业全,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[J]. 水土保持学报,1992,6(4):60-68.

[4] 王庆锁,张玉发,苏加楷,等. 苜蓿-作物轮作研究[J]. 生态农业研究,1999,7(3):35-40.

[5] Liu C A, Jin S L, Zhou L M, et al. Effects of plastic mulch and tillage on maize productivity and soil parameters[J]. European Journal of Agronomy, 2009, 31(4):241-249.

[6] Berzsényi Z, Györfy B, Lap D. Effect of crop rotation and fertilisation on maize and wheat yields and yield stability in a long-term experiment[J]. European Journal of Agronomy, 2000, 13(2/3):225-244.

[7] Barber S A. The influence of alfalfa, brome grass, and corn on soil aggregation and crop yield[J]. Soil Sic Am Proc, 1959, 23:258-259.

[8] Blackshaw R E, Larney F O, Lindwall C W, et al. Crop rotation and tillage effects on weed populations on the semi-arid Canadian[J]. Weed Technology, 1994, 8(2):231-237.

[9] Whitbread A M, Blair b G J, Lefroy R D B. Managing legume leys, residues and fertilizers to enhance the sustainability of wheat yields and nutrient balance 2. Soil physical fertility and carbon[J]. Soil and Tillage Research, 2000, 54:77-89.

[10] 邢 福,周景英,金永君,等. 我国草田轮作的历史、理论与实践概览[J]. 草业学报,2011,20(3):245-255.

[11] 方新宇,李 军,王学春,等. 黄土高原半湿润区苜蓿草地土壤干燥化与草粮轮作水分恢复效应[J]. 中国农业科学,2010,43(16):3348-3356.

[12] 王学春,李 军,方新宇,等. 黄土高原半干旱偏旱区草粮轮作田土壤水分恢复效应模拟[J]. 应用生态学报,2001,22(1):105-113.

[13] 刘沛松,贾志宽,李 军,等. 宁南山区紫花苜蓿土壤干层水分动态及草田轮作恢复效应[J]. 生态学报,2008,28(1):183-191.

[14] 王 俊,李凤民,贾 宇,等. 半干旱黄土区苜蓿草地轮作农田土壤氮、磷和有机质变化[J]. 应用生态学报,2005,16(3):439-444.

[15] 韩方虎,沈禹颖,王 希,等. 苜蓿草地土壤氮矿化的研究[J]. 草业学报,2009,18(2):11-17.

[16] Yang X M, Kay B D. Rotation and tillage effects on soil organic carbon sequestration in a typic Hapludalf in Southern Ontario[J]. Soil and Tillage Research, 2001, 59(3/4):107-114.

[17] 王 俊,刘文兆,李凤民. 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[J]. 土壤学报,2007,44(1):179-183.

- [18] 王玉莲,杜震宇,童淑媛. 玉米叶片自然衰老过程中光合特性变化的研究进展[J]. 黑龙江八一农垦大学学报,2010,22(2):12-14,19.
- [19] 杨恒山,高聚林,张玉芹,等. 超高产春玉米氮磷钾养分吸收与利用的研究[J]. 干旱地区农业研究,2011,29(2):15-20,39.
- [20] 梁秀兰,林英春,年海,等. 低磷胁迫对不同基因型玉米主要生理生化特性的影响[J]. 作物学报,2005,31(5):667-669.
- [21] Giannopolitis C N, Ries S K. Superoxide dismutases: I. Occurrence in higher plants[J]. Plant Physiology, 1977, 59(2):309-314.
- [22] 张宪政. 作物生理研究法[M]. 北京:农业出版社,1992:131-207.
- [23] 邹琦. 植物生理生化实验指导[M]. 北京:中国农业出版社,1995:32-33.
- [24] Thomas H, and C J. Howarth Five way to stay green[J]. J of Exp Bot, 2000, 51:329-337.
- [25] Cakmak I, Marschner H. Magnesium deficiency and high light intensity enhance activities of superoxide dismutase, ascorbate peroxidase, and glutathione reductase in bean leaves[J]. Plant Physiology, 1992, 98(4):1222-1227.
- [26] 李潮海,赵霞,王群,等. 土壤质地对玉米生育后期叶片衰老的影响[J]. 玉米科学,2007,15(1):73-75.
- [27] 李潮海,赵霞,王群,等. 下层土壤容重对玉米生育后期叶片衰老的生理效应[J]. 玉米科学,2007,15(2):61-63.
- [28] 刘沛松,贾志宽,李军,等. 宁南旱区草粮轮作系统中紫花苜蓿适宜利用年限研究[J]. 草业学报,2008,17(3):31-39.
- [29] 刘沛松,贾志宽,李军,等. 宁南旱区不同草粮轮作方式中前茬对春小麦产量和土壤性状的影响[J]. 水土保持学报,2008,22(5):146-152.
- [30] Bolton E E, Dirks V A, Aylesworth J W. Some effects of alfalfa, fertilizer, and lime on corn yield in rotations on clay soil during a range of seasonal moisture condition[J]. Can J Soil Sci, 1959, 56:21-25.
- [31] Triplett G B, Haghiri Jr F, Van Doren D M. Plowing effect on corn yield response to N following Alfalfa[J]. Agron J, 1979, 71:801-803.
- [32] Tucker B B, Cos M B, Eck H V. Effects of rotation, tillage methods, and N fertilization on winter wheat production[J]. Agron J, 1971, 63:699-702.
- [33] 彭敏林. 苜蓿轮作农田和常规农田作物产量与土壤质量比较研究[D]. 兰州:兰州大学,2012.
- [34] Stickler F D, Shrader W D, Johnson I J. Comparative value of legum and fertilizer nitrogen for corn production[J]. Agron J, 1959, 51:157-160.