

黄土高原区苜蓿与小麦轮作系统根部入侵真菌研究

郭玉霞¹, 南志标^{1*}, 李春杰¹, 沈禹颖¹, 高崇岳¹, W. D. Bellotti², 陈 文¹

(1. 兰州大学草地农业科技学院, 甘肃草原生态研究所, 兰州 730020; 2. 澳大利亚阿德莱德大学农业与葡萄酒学院, 南澳州 5371)

摘要:以甘肃庆阳黄土高原地区草田轮作系统中苜蓿(*Medicago sativa*)和小麦(*Triticum aestivum*)为研究材料,分别于 2002 年两种作物的拔节期(分枝期)、开花期、成熟期和幼苗期(第 3 茬分枝期)取样,分离、鉴定了根部入侵真菌,测定了分离所得根部入侵真菌对其寄主作物及另一种轮作作物的致病力。结果表明:在试验区内共分离到 27 种根部入侵真菌,包括自小麦根系分离到 26 种,苜蓿侧根分离到 23 种,其中 22 种为苜蓿和小麦共同的根部入侵真菌。两种作物根部入侵真菌区系中优势种明显不同,苜蓿根部最主要的 5 种入侵真菌按分离率的高低依次为尖镰孢(*Fusarium oxysporum*)17.0%、大孢肉座菌(*Selinia* sp.)15.4%、茎点霉(*Phoma medicaginis*)9.5%、腐皮镰孢(*Fusarium solani*)6.7%及柱孢(*Cylindrocarpon destructans*)6.6%;而小麦根部 5 种最主要的入侵真菌按分离率的高低依次为黑团孢(*Periconia* sp.)15.0%、丝核霉(*Papulaspora* sp.)12.1%、多主枝孢(*Cladosporium herbarum*)5.4%、丝核菌(*Rhizoctonia* sp.)4.0%及尖镰孢 3.9%;总的真菌分离率亦是苜蓿高于小麦。苜蓿与小麦的根段带菌率均有随生长季的延长而增高的特征。在试验条件下,参试的苜蓿、小麦根部入侵真菌对苜蓿和小麦均有一定的致病力,但对苜蓿种子和幼苗的致病力强于对小麦种子和幼苗的致病力。在轮作体系中,小麦田轮作苜蓿应注意防治根部入侵真菌的危害。

关键词:黄土高原; 草田轮作; 苜蓿; 小麦; 根部入侵真菌

Root-invading fungi of lucerne and winter wheat in the rotation system on the Loess Plateau

GUO Yu-Xia¹, NAN Zhi-Biao¹, LI Chun-Jie¹, SHEN Yu-Ying¹, GAO Chong-Yue¹, W. D. Bellotti², CHEN Wen¹(1. College of Pastoral Agricultural Science and Technology, Lanzhou University, Gansu Grassland Ecological Research Institute, Lanzhou 730020, China; 2. School of Agriculture and Wine, Adelaide University, Roseworthy, SA 5317, Australia). *Acta Ecologica Sinica*, 2004, 24(3): 486~494.

Abstract: A study was carried out on root-invading fungi of lucerne (*Medicago sativa*) and winter wheat (*Triticum aestivum*) under the forage legume-cereal rotation systems on the Loess Plateau of eastern Gansu province, China. Roots of wheat and lucerne were sampled at spring jointing (spring branching), flowering, maturity and seedling or regrowth stage in 2002. Fungi were isolated from lucerne rootlets and the wheat root system. Pathogenicity of these root-invading fungi to lucerne and wheat were determined in the laboratory.

Twenty-seven fungal species were isolated and identified from the field plots. Of which 26 fungi were isolated from wheat root and 23 fungi isolated from lucerne rootlets. Among the fungi isolated, 22 species were shared by both lucerne and wheat. They were *Alternaria alternata*, *Cladosporium herbarum*, *Cylindrocarpon destructans*, *Fusarium acuminatum*, *F. avenaceum*, *F. decemcellulare*, *F. oxysporum*, *F. semitectum*, *F. solani*, *Fusarium* sp., *Fusicoccum aesculi*, *Gliocladium* sp., *G. roseum*, *Mucor* sp., *Penicillium* sp., *Papulaspora* sp., *Phoma medicaginis*, *Rhizoctonia* sp., *Selinia* sp., *Staphylotrichum* sp.,

基金项目:国家重点基础研究发展规划资助项目(G2000018602);澳大利亚国际农业研究中心资助项目(LWR2/1999/094)

收稿日期:2003-09-23;**修订日期:**2003-12-28

作者简介:郭玉霞(1975~),女,河南周口人,硕士,主要从事草业科学教学与科研。

* **通讯作者** Author for correspondence, E-mail: zhibiao@lzu.edu.cn

Foundation item: the National Key Basic Research Special Foundation of China (No. G2000018602) and Australian Center for International Agricultural Research (No. LWR2/1999/094)

Received date:2003-09-23;**Accepted date:**2003-12-28

Biography: 郭玉霞,女,1975年生于河南周口,硕士,主要研究方向:草地科学。

Stemphylium botryosum and *Verticillium* sp.. Four fungi including *Bipolaris sorokiniana*, *Melasmia* sp., *Periconia* sp. and *Phytophthora* sp. were only found in wheat root, and only one fungal species, *Mycotypha* sp was found in lucerne rootlets. However, the dominant species of the root-invading fungi in lucerne and wheat were different. The most common fungal species from lucerne, in order of decreasing frequency of isolation, were *F. oxysporum* (17.0%), *Selinia* sp. (15.4%), *P. medicaginis* (9.5%), *F. solani* (6.7%) and *Cy. destructans* (6.6%). The five most common fungi isolated from wheat were *Periconia* sp. (15.0%), *Papulaspora* sp. (12.1%), *C. herbarum* (5.4%), *Rhizoctonia* sp. (4.0%) and *F. oxysporum* (3.9%). The total percentage of fungi isolated from lucerne was higher than from wheat. The pathogenicity test results showed that all the fungi tested under the laboratory conditions had pathogenic effects on lucerne and wheat to some extent. In general, the pathogenicity of all the fungi tested was more severe on seeds and seedlings of lucerne than on those of wheat. Fungi isolated from lucerne rootlets including *Selinia* sp., *F. oxysporum*, *F. solani*, *F. decemcellulare*, *S. botryosum*, *C. herbarum*, *F. avenaceum* and *P. medicaginis* were pathogenic to lucerne seeds and seedlings. Compared to the not inoculated control, decayed seed percentages in inoculated treatments were 21.0%~32.0%, relative germination was decreased by 23.0%~57.0%, and the disease index was 63.8~89.5. Whereas only *F. oxysporum* and *S. botryosum* of fungi isolated from lucerne rootlets showed pathogenicity to wheat seedlings, the disease index was 89.5 and 63.8, respectively. The relative germination was decreased 31.0% by *F. oxysporum*. Fungi isolated from wheat including *F. acuminatum*, *F. oxysporum*, *F. avenaceum*, *F. solani*, *Fusarium* sp., *Periconia* sp. and *Papulaspora* sp. showed pathogenicity to seeds and seedlings of lucerne. Compared to the not inoculated control, the inoculation treatments resulted in 20.0%~41.0% decayed seeds. The relative germination was decreased by 8.0%~56.0%, and the disease index was 67.7~88.2. Only *Fusarium* sp. and *B. sorokiniana* of fungi isolated from wheat roots showed pathogenicity to wheat seedlings with disease index of 99.1 and 88.8, respectively. The relative germination was decreased 11.0% by *B. sorokiniana*.

Key words:the Loess Plateau; forage legume-cereal rotation; lucerne; *Medicago sativa*; root-invading fungi; wheat; *Triticum aestivum*

文章编号:1000-0933(2004)03-0486-09 中图分类号:Q143 文献标识码:A

我国的黄土高原是全国乃至全世界最严重的水土流失区之一,每年的水土流失量达 16 亿 t^[1]。将豆科牧草引入以小麦(*Triticum aestivum*)为主的禾谷类作物轮作体系,建立草地农业系统,是遏制生态环境恶化、提高农民收入、实现可持续发展的必要途径,并已在生产实践中表现出强大的生命力^[2]。在多种轮作体系中,苜蓿(*Medicago sativa*)-小麦轮作具有最佳的水土保持效果^[3]。

植物病害是农业生产的主要限制因素之一。据估计,全世界每年因病、虫、杂草等造成的包括牧草在内的作物损失达 35%^[4]。病害的发生是环境、病原、寄主和生产活动共同作用的结果,种植的作物种、品种、轮作体系、田间管理技术等均可对当茬及后茬作物病害产生重要影响。Kollmorgen^[5]曾研究了小麦种子上分离到的燕麦镰孢(*Fusarium avenaceum*)对小麦及蒺藜苜蓿(*Medicago truncatula* var. *truncatula*)、地三叶(*Trifolium subterraneum*)等作物的致病性及其与作物轮作的关系。

苜蓿和小麦作为北半球温带地区最主要的牧草和粮食作物,在农牧业生产中有着不可替代的作用。对其病害国内外均已开展了大量的研究^[6~10]。然而,关于草田轮作系统中苜蓿、小麦根部入侵真菌及其相互关系的研究,国内外似乎未见相关报道。鉴此,本研究以我国黄土高原地区最常见苜蓿-小麦轮作体系为对象,开展了两种作物根部入侵真菌区系的研究,以期为生态环境建设、农业结构调整和发展草地农业提供基础资料。

1 材料与方法

1.1 试验地概况

试验区设在甘肃草原生态研究所庆阳黄土高原试验站,位于陇东黄土高原中部,甘肃庆阳市西峰区以北 18km 处的什社乡境内(E107°51',N35°39')。海拔 1297m,冬春寒冷干燥,秋季多风,夏季炎热。据庆阳市气象站资料,年均温度为 8.0~10.0℃,极端最高温度为 39.6℃,极端最低温度为 -22.4℃。年降雨量为 480~660mm,多集中在 7、8、9 三个月。年蒸发量为 1100~1500mm,年日照时数为 2300~2700h,无霜期 150~190d。大于 5℃年平均积温 3446℃,生长季 255d,2002 年各月气温略高于历年平均水平,2002 年 4~6 月降雨量明显高于历年平均水平,6 月份降雨多达 129.2mm,而 8 月份降雨则显著低于历年平均水平,减少量为 68.0mm。

1.2 试验设计

本试验共设有 3 种处理:①苜蓿草地 1998 年春季建植,撒播,播量为 18.75kg/hm²,品种为陇东苜蓿(*Medicago sativa* cv.

Longdong)。②苜蓿地长休闲后轮作小麦(以下简称长休闲) 2001 年 5 月 13 日挖掉苜蓿,土地耕翻后休闲 4 个月,至当年 9 月 14 日播种小麦。③苜蓿地短休闲后轮作小麦(以下简称短休闲) 2001 年 8 月 17 日挖掉苜蓿,土地耕翻后休闲 1 个月,至当年 9 月 14 日播种小麦。

各小麦轮作区的小麦品种由甘肃庆阳市农科所提供,为西峰 24 号,室内发芽率为 97%,每处理 4 个重复,随机区组排列,每小区面积为 $10\text{m}\times4\text{m}=40\text{m}^2$ 。

2002 年 7 月小麦收获后,于同年 9 月在各小区继续按上述设计,播种小麦。播量均为 $187.5\text{kg}/\text{hm}^2$,条播,行距为 15cm。2002 年苜蓿小区刈割 3 次,刈割日期分别为 5 月 30 日、7 月 15 日与 9 月 10 日。田间杂草人工及时防除。

1.3 苜蓿、小麦根部入侵真菌的分离

分别于 2002 年 4 月 21 日、5 月 26 日、7 月 11 日及 11 月 1 日进行苜蓿、小麦根部取样。取样时作物的生育期相应为小麦的拔节期、开花期、成熟期与当年小麦幼苗期;苜蓿的分枝期、开花期、成熟期与第 3 茬分枝期。苜蓿每小区随机取 8 株根样;小麦每小区四行随机取样,每行随机取两株根样(即每小区随机取 8 株根样)。取样深度为 0~30cm,用铁锹将苜蓿、小麦的根挖出,取好的各处理根样连同土壤装进塑料袋内封好口,带回试验室内,将苜蓿取侧根,小麦取全部根系,根据 Nan^[11]的方法,进行根部入侵真菌的分离,并鉴定到种,计算各真菌分离率。

1.4 根部入侵真菌致病性的测定

将从小麦根部分离得到的 26 种真菌及苜蓿侧根上分离得到的 23 种真菌分别于 PDA 培养基上黑暗条件下 20℃恒温培养箱培养一周,作为参试菌种,按 Nan^[11]的方法,将真菌分离物接种于无菌的玉米粉、石英砂培养基(玉米粉:石英砂:水=5:100:20)^[12]上培养 1 周,以未接种真菌的无菌玉米粉+无菌石英砂培养基作为对照。将表面消毒后的苜蓿或小麦种子分别播种于接种真菌的培养基或未接种真菌的对照培养基上,每皿播种 25 粒,每皿为一个重复,共 4 重复,黑暗条件下 20℃恒温培养箱进行培养。在整个培养期间,称重加无菌蒸馏水用于保持恒定的湿度。第 14 天统计种子发芽数、死种子数,并计算病情指数。苜蓿病情指数按照以下分级标准定级^[12]:0. 无肉眼可见症状;Ⅰ. 根变细;Ⅱ. 根部小于 1/2 的面积出现病斑;Ⅲ. 根部大于 1/2 的面积出现病斑;Ⅳ. 全株腐烂;Ⅴ. 种子烂死。小麦病情指数按照以下分级标准定级:0. 无肉眼可见症状;Ⅰ. 根部小于 20%的面积出现病斑;Ⅱ. 根部 21%~40%的面积出现病斑;Ⅲ. 根部 41%~60%的面积出现病斑;Ⅳ. 根部 61%~80%的面积出现病斑;Ⅴ. 根部大于 80%的面积出现病斑。为了便于比较,将苜蓿、小麦的发芽率换算为相对发芽率,即(接种处理的发芽率/对照的发芽率) $\times100\%$ 。

1.5 资料统计与分析

用 Microsoft Excel 进行数据和图形处理及 Statistica 软件进行统计分析和差异显著性测定。

2 结果

2.1 苜蓿侧根入侵真菌区系

在苜蓿整个生长期内,共分离到 23 种真菌,其中各生育期均分离到的真菌有 12 种,它们是细交链孢(*Alternaria alternata*)、多主枝孢(*Cladosporium herbarum*)、柱孢(*Cylindrocarpon destructans*)、燕麦镰孢(*F. avenaceum*)、多隔镰孢、尖镰孢(*F. oxysporum*)、腐皮镰孢(*F. solani*)、粉红胶帚霉(*G. roseum*)、青霉(*Penicillium* sp.)、茎点霉(*Phoma medicaginis*)、丝核菌(*Rhizoctonia* sp.)及大孢肉座菌(*Selinia* sp.)(表 1)。

苜蓿根部的带菌率随着生长季节的延长逐渐增高。春季分枝期根段带菌率为 49.1%,开花期和种子成熟期的根段带菌率分别达到 70.3%、81.9%,11 月份第 3 茬再生草的分枝期的根段带菌率仍达 76.3%。统计分析表明,春季分枝期的根段带菌率显著低于成熟期($p<0.05$)。

苜蓿分枝期共分离到 16 种真菌,分离率在 1.0%以上的有 7 种,按分离率高低依次为茎点霉、尖镰孢、大孢肉座菌、柱孢、胶帚霉(*Gliocladium* sp.)、多主枝孢及青霉。

苜蓿开花期共分离到 20 种真菌,分离率在 1.0%以上的有 15 种,按分离率高低依次为尖镰孢、大孢肉座菌、锐顶镰孢(*F. acuminatum*)、茎点霉、半裸镰孢(*F. semitectum*)、腐皮镰孢、多主枝孢、多隔镰孢、胶帚霉、柱孢、燕麦镰孢、丝核菌、青霉、蒲头霉(*Mycotapha* sp.)及丝萁霉(*Papulaspora* sp.)。

苜蓿成熟期共分离到 19 种真菌,分离率在 1.0%以上的有 14 种,按分离率高低依次为尖镰孢、大孢肉座菌、腐皮镰孢、柱孢、锐顶镰孢、丝核菌、丝萁霉、细交链孢、燕麦镰孢、半裸镰孢、镰刀菌(*Fusarium* sp.)、茎点霉、壳梭孢(*Fusicoccum* sp.)及多主枝孢。

苜蓿第 3 茬分枝期亦分离到 19 种真菌,分离率在 1.0%以上的有 13 种,按分离率高低依次为大孢肉座菌、尖镰孢、柱孢、腐皮镰孢、多隔镰孢、丝核菌、丝萁霉、圆孢霉、燕麦镰孢、锐顶镰孢、茎点霉、粉红胶帚霉及细交链孢(表 1)。

2.2 小麦根部入侵真菌区系

苜蓿挖除后休闲 4 个月和休闲 1 个月 after 播种小麦,对小麦根段带菌率无显著影响。拔节期长休闲与短休闲小区的根段带菌率分别为 45.5%和 40.6%;开花期和成熟期两个处理的根段带菌率分别为 67.4%和 74.7%,94.9%和 94.7%;当年 11 月播种,处于苗期,生长于长休闲与短休闲小区的根段带菌率分别为 36.4%和 25.5%。对各生育期两个处理小区中小麦根段带菌率统计分析表明,差异均不显著($p>0.05$),故将长休闲与短休闲小区的资料平均后予以表述。

在小麦生长期及当年播种的苗期,共分离到 26 种真菌,其中各生育期均分离到的真菌有 18 种,包括细交链孢、根腐离蠕孢、多主枝孢、柱孢、锐顶镰孢、燕麦镰孢、尖镰孢、半裸镰孢、腐皮镰孢、镰刀菌、壳梭孢、胶帚霉、毛霉、丝菴霉、青霉、黑团孢、丝核菌及匍柄霉(表 2)。

小麦根部入侵真菌种类和真菌出现频率因生育期不同而有差异。小麦根部的带菌率随着生长季节—拔节期、开花期、成熟期的的进程逐渐增高。春季拔节期根段带菌率为 43.1%,开花期和种子成熟期的根段带菌率分别达到 71.0%、94.8%,但到了 11 月份当年播种的处于苗期的小麦根段带菌率仅为 30.9%。统计分析表明:小麦各生育期的根段带菌率差异均显著($p<0.05$)。

小麦拔节期共分离到 24 种真菌,分离率在 1.0%以上的有 12 种,按分离率高低依次为尖镰孢、多主枝孢、胶帚霉、细交链孢、丝菴霉、镰刀菌、锐顶镰孢、茎点霉、燕麦镰孢、青霉、丝核菌及半裸镰孢。

表 1 苜蓿根部入侵真菌分离率(%)
Table 1 Percent frequency of fungi isolated from lucerne rootlets at various growing stages

真菌 Fungus isolated	生长期 Growing stage			
	分枝期 * Branching	开花期 Flowering	成熟期 Maturity	第 3 茬分枝期 Regrowth after 2 nd cut
细交链孢 <i>Alternaria alternata</i>	0.6ab	0.3b	2.2a	1.6ab
多主枝孢 <i>Cladosporium herbarum</i>	1.9a	2.8a	1.3a	0.9a
柱孢 <i>Cylindrocarpon destructans</i>	4.7bc	1.9c	8.8ab	11.3a
锐顶镰孢 <i>Fusarium acuminatum</i>	0.0b	8.4a	4.1ab	1.9b
燕麦镰孢 <i>F. avenaceum</i>	0.6a	1.9a	2.2a	2.2a
多隔镰孢 <i>F. decemcellulare</i>	0.3b	2.2ab	0.3b	4.4a
尖镰孢 <i>F. oxysporum</i>	6.9c	23.4a	23.4a	14.4b
半裸镰孢 <i>F. semitectum</i>	0.0b	3.8a	2.2ab	0.6b
腐皮镰孢 <i>F. solani</i>	0.6c	3.8b	11.6a	10.9a
镰刀菌 <i>Fusarium</i> sp.	0.6ab	0.0b	1.9a	0.0b
壳梭孢 <i>Fusicoccum</i> sp.	0.0b	0.6a	1.3a	0.6a
粉红胶帚霉 <i>G. roseum</i>	0.3a	0.9a	0.3a	1.9a
胶帚霉 <i>Gliocladium</i> sp.	2.5a	2.2a	0.9b	0.0b
毛霉 <i>Mucor</i> sp.	0.0a	0.0a	0.0a	0.3a
蒲头霉 <i>Mycotypha</i> sp.	0.3a	1.3a	0.3a	0.0b
丝菴霉 <i>Papulaspora</i> sp.	0.0b	1.3a	2.5a	2.5a
青霉 <i>Penicillium</i> sp.	1.3a	1.3a	0.3a	0.3a
茎点霉 <i>Phoma medicaginis</i>	28.1a	6.6b	1.3c	1.9c
丝核菌 <i>Rhizoctonia</i> sp.	0.9b	1.6ab	3.1a	2.5a
大孢肉座菌 <i>Selinia</i> sp.	5.6b	13.1ab	21.6a	21.3a
圆孢霉 <i>Staphylotrichum</i> sp.	0.0b	0.9ab	0.0b	2.5a
匍柄霉 <i>Stemphylium botryosum</i>	0.3a	0.9a	0.0a	0.0a
轮枝菌 <i>Verticillium</i> sp.	0.0a	0.0a	0.0a	0.3a
总分离率(%) Total segments yielding colonies	49.1b	70.3ab	81.9a	76.3ab
真菌种类(种) Species number	16	20	19	19

* 每行平均数标有不同字母者经 LSD 测定,差异显著($P<0.05$)Means within each line followed by the different letters were differed at $P<0.05$ in an analysis of variance (LSD test)

小麦开花期共分离到 22 种真菌,分离率在 1.0%以上的有 17 种,按分离率高低依次为丝菴霉、多主枝孢、细交链孢、锐顶镰孢、镰刀菌、尖镰孢、壳梭孢、半裸镰孢、黑团孢、多隔镰孢、柱孢、茎点霉、匍柄霉、胶帚霉、根腐离蠕孢、丝核菌及燕麦镰孢。

小麦成熟期共分离到 19 种真菌,分离率在 1.0%以上的有 10 种,按分离率高低依次为黑团孢、丝菴霉、丝核菌、尖镰孢、锐顶镰孢、多主枝孢、半裸镰孢、燕麦镰孢、圆孢霉及腐皮镰孢。

当年 9 月份播种,生长至 11 月份的小麦幼苗期分离到 24 种真菌,分离率在 1.0%以上的有 9 种,按分离率高低依次为丝菴霉、多隔镰孢、青霉、锐顶镰孢、燕麦镰孢、半裸镰孢、尖镰孢、丝核菌及细交链孢(表 2)。

2.3 苜蓿、小麦根部入侵真菌区系的异同

2002 年整个生长季 4 次取样,在试验区内共分离到 27 种根部入侵真菌,其中自小麦根系分离到 26 种,苜蓿侧根分离到 23 种(表 3)。
万方数据

在 27 种真菌中,有 22 种为苜蓿和小麦共同的根部入侵真菌,包括:细交链孢、多主枝孢、柱孢、锐顶镰孢、燕麦镰孢、多隔镰

孢、尖镰孢、半裸镰孢、腐皮镰孢、镰刀菌、壳梭孢、粉红胶帚霉、胶帚霉、毛霉(*Mucor* sp.)、青霉、丝蓍霉、茎点霉、丝核菌、大孢肉座菌、圆孢霉(*Staphyлотrichum* sp.)、匍柄霉(*Stemphylium botryosum*)和轮枝菌(*Verticillium* sp.)。

表 2 不同生育期小麦根部入侵真菌分离率(%)

真菌 Fungus isolated	生长期 Growing stage			
	拔节期 Jointing	开花期 Flowering	成熟期 Maturity	幼苗期 Seedling
细交链孢 <i>Alternaria alternata</i>	4. 5a	4. 6a	0. 6b	1. 0b
根腐离蠕孢 <i>Bipolaris sorokiniana</i>	0. 2b	1. 9a	0. 6ab	0. 8ab
多主枝孢 <i>Cladosporium herbarum</i>	5. 2b	13. 8a	1. 8b	0. 9b
柱孢 <i>Cylindrocarpon destructans</i>	0. 7b	2. 3a	0. 8ab	0. 5b
锐顶镰孢 <i>Fusarium acuminatum</i>	3. 2ab	4. 5a	2. 1ab	1. 3b
燕麦镰孢 <i>F. avenaceum</i>	2. 6a	1. 6a	1. 3a	1. 1a
多隔镰孢 <i>F. decemcellulare</i>	0. 2c	2. 5b	0. 0c	7. 1a
尖镰孢 <i>F. oxysporum</i>	5. 4a	4. 2a	4. 8a	1. 0b
半裸镰孢 <i>F. semitectum</i>	1. 0a	2. 8a	1. 6a	1. 1a
腐皮镰孢 <i>F. solani</i>	0. 2b	0. 1b	1. 0a	0. 2b
镰刀菌 <i>Fusarium</i> sp.	3. 9a	4. 3a	0. 2b	0. 2b
壳梭孢 <i>Fusicoccum</i> sp.	0. 1b	2. 8a	0. 9b	0. 5b
粉红胶帚霉 <i>G. roseum</i>	0. 8a	0. 2bc	0. 0c	0. 5ab
胶帚霉 <i>Gliocladium</i> sp.	4. 5a	1. 9b	0. 1b	0. 8b
叶痣菌 <i>Melasmia</i> sp.	0. 2a	0. 0a	0. 0a	0. 1a
毛霉 <i>Mucor</i> sp.	0. 8a	0. 4a	0. 4a	0. 1a
丝蓍霉 <i>Papulaspora</i> sp.	3. 9c	21. 6a	13. 7b	8. 9bc
青霉 <i>Penicillium</i> sp.	1. 3a	0. 6a	0. 2a	2. 7a
黑团孢 <i>Periconia</i> sp.	0. 3b	2. 7b	56. 6a	0. 4b
茎点霉 <i>Phoma medicaginis</i>	2. 9a	2. 3ab	0. 0b	0. 0b
疫霉 <i>Phytophthora</i> sp.	0. 5a	0. 0b	0. 0b	0. 8a
丝核菌 <i>Rhizoctonia</i> sp.	1. 1b	1. 7b	12. 3a	1. 0b
大孢肉座菌 <i>Selinia</i> sp.	0. 0b	0. 6a	0. 0b	0. 0b
圆孢霉 <i>Staphyлотrichum</i> sp.	0. 6ab	0. 0b	1. 1a	0. 9ab
匍柄霉 <i>Stemphylium botryosum</i>	0. 2b	2. 1a	0. 2b	0. 6b
轮枝菌 <i>Verticillium</i> sp.	0. 0b	0. 0b	0. 0b	0. 9a
总分离率(%) Total segments yielding colonies	43. 1c	71. 3b	94. 8a	30. 9d
真菌种类(种) Species number	24	22	19	24

* 每行平均数标有不同字母者经 LSD 测定, 差异显著 ($P<0. 05$) Means within each line followed by the different letters were differed at $P<0. 05$ in an analysis of variance (LSD test)

仅从小麦根系上分离到根腐离蠕孢 (*Bipolaris sorokiniana*)、叶痣菌 (*Melasmia* sp.)、黑团孢 (*Periconia* sp.) 及疫霉 (*Phytophthora* sp.)。仅从苜蓿上分离到蒲头霉 (*Mycotypha* sp.)。

两种作物根部入侵真菌区系的优势种明显不同。苜蓿根部最主要的 5 种入侵真菌按分离率的高低依次为尖镰孢 17. 0%、大孢肉座菌 15. 4%、茎点霉 9. 5%、腐皮镰孢 6. 7% 及柱孢 6. 6%; 而小麦根部 5 种最主要的入侵真菌按分离率的高低依次为黑团孢 15. 0%、蓍霉 12. 1%、多主枝孢 5. 4%、丝核菌 4. 0% 及尖镰孢 3. 9%。总的真菌分离率亦是苜蓿高于小麦 (表 3)。

从苜蓿侧根分离到的入侵真菌: 柱孢、尖孢镰孢、腐皮镰孢、蒲头霉、茎点霉和大孢肉座菌的分离率分别显著高于相应的小麦根部入侵真菌的分离率 ($p<0. 05$), 从小麦根部分离到的入侵真菌细交链孢、根腐离蠕孢、多主枝孢、镰刀菌、丝蓍霉、黑团孢、疫霉和丝核菌的分离率分别显著高于相应的苜蓿侧根入侵真菌的分离率 ($p<0. 05$) (表 3)。

2. 4 苜蓿、小麦根部主要入侵真菌的致病力

2. 4. 1 苜蓿侧根主要入侵真菌的致病力 在试验条件下, 参试的苜蓿根部入侵真菌对苜蓿和小麦均有一定的致病力。

参试真菌导致苜蓿种子不同程度的腐烂, 烂种率为 4. 0%~32. 0%, 平均为 18. 0%, 由此造成苜蓿种子发芽率降低。若以对照处理的种子发芽率为 1. 0, 则接种处理的平均种子发芽率为 0. 85, 下降幅度达 15. 0% 之多。已萌发的幼苗受病菌危害, 产生大面积病斑, 平均病情指数达 67. 5 (表 4)。

苜蓿根部入侵真菌未导致小麦种子腐烂, 小麦烂种率为 0。但锐顶镰孢、锐顶镰孢 2、燕麦镰孢、多隔镰孢、尖镰孢、尖镰孢 2、壳梭孢和轮枝菌 8 种接种真菌显著降低了小麦种子的相对发芽率。参试的大多数真菌均可使小麦幼苗产生病斑, 平均病情指数为 31. 8 (表 4)。

2. 4. 2 小麦根部主要入侵真菌的致病力 在试验条件下, 参试的小麦根部入侵真菌对苜蓿和小麦均有一定的致病力, 主要表现在对两种作物种子萌发以及幼苗生长产生不利影响。

小麦根部入侵真菌未导致小麦种子腐烂, 小麦烂种率为 0。但根腐离蠕孢、锐顶镰孢、锐顶镰孢 2、燕麦镰孢、尖镰孢、尖镰孢

(2)、疫霉 7 种接种真菌显著降低了小麦种子的相对发芽率,降低幅度达 11.0%~18.0%;参试的大多数真菌均可使小麦幼苗产生病斑,平均病情指数为 26.7(表 5)。

小麦根部入侵真菌对苜蓿种子造成不同程度的腐烂,烂种率为 3.0%~41.0%,平均为 16.0%,由此造成苜蓿种子发芽率不同程度的降低。其中大孢肉座菌、锐顶镰孢 2、燕麦镰孢、尖镰孢、叶痣菌显著降低了苜蓿的相对发芽率,降低幅度达 21.0%~56.0%;已萌发的幼苗受病菌危害,产生大面积病斑,平均病情指数达 62.9(表 5)。

根据各项测定的指标综合评定,锐顶镰孢 2、锐顶镰孢、尖镰孢、尖镰孢 2、燕麦镰孢、腐皮镰孢 2、镰刀菌、黑团孢及丝蓍霉等对苜蓿种子与幼苗致病力较强;而镰刀菌和根腐离蠕孢对小麦幼苗致病性较强。总之,小麦根部入侵真菌对苜蓿种子和幼苗的致病力强于对小麦种子和幼苗的致病力。

3 讨论

在 2002 年整个生长季 4 次取样,共分离到 27 种真菌,其中自小麦根系分离到 26 种真菌,苜蓿侧根上分离到 23 种真菌。在 27 种真菌中,有 22 种真菌是共同的根部入侵真菌。这些真菌在我国和其他国家的苜蓿和小麦上^[13~20],以及在我国与外国的其他种作物上^[21~23]均有报道。由此,可以看出此类真菌分布的普遍性。此类真菌是土壤微生物区系的重要组份,在物质循环过程中具有重要作用^[24],但当植物生长条件不适,如过度刈割、干旱、家畜采食过度时,会对植物造成危害,降低其生产性能^[24],国际上有人将此类真菌称为次要病原菌(minor pathogen),以与那些明显的病原菌相区别^[25]。因此,在草地与农田的管理中,必须采取科学的技术体系,保证植物健康生长,以增强对这些次要病原菌的抗性。

在本研究分离获得的真菌中,根腐离蠕孢、叶痣菌、黑团孢、疫霉等四种真菌仅从小麦根系上分离到,而蒲头霉仅从苜蓿上分离到,表现出一定的寄主专化性。这一结果与 Skipp 等^[26]对白三叶(*Trifolium repens*)及多年生黑麦草(*Lolium perenne*)根部入侵真菌的研究结果相类似。寄主专化性是许多叶部病原真菌如锈菌(*Uromyces* spp.)、白粉菌(*Erysiphe* spp.)和霜霉菌(*Peronospora* spp.)的共同特征,本研究结果及他人的研究^[26]表明,与叶部病原真菌相比,根部入侵真菌的寄主专化性较弱,但这一特性在上述数种真菌中仍得到了体现。

苜蓿作为全世界最主要的豆科牧草,长期以来,受到了国内外学者们的广泛关注。侧根作为植物根系的重要组分,在植物生长发育中发挥着不可替代的作用。侧根健康的概念已广为接受^[27, 28]。但以苜蓿侧根为材料的研究似乎尚不多见,国内外似乎仅美国有相关研究^[29, 30]。侧根根部入侵真菌的带菌状况,可能略低于主根,因其处于不断的生长与衰亡之中,但对于苜蓿侧根的研究,可大体反映出主根的带菌状况。本研究中所获真菌种与他人的研究相似,也为此提供了进一步的支持。同时,当 4 龄、5 龄苜蓿主根粗大,难以切段培养时,以侧根为材料,不失为便捷方法。

本研究自小麦根系分离到的真菌,与国内外相关研究结果较为一致,由此,进一步指出土传真菌的普遍性^[8, 20, 31]。

从苜蓿侧根上分离的主要入侵真菌,对苜蓿相对发芽率、死种子、病情指数均有影响,根据各项测定的指标综合评定,大孢肉座菌、尖镰孢、腐皮镰孢、多隔镰孢、匍柄霉、多主枝孢、燕麦镰孢及茎点霉等对苜蓿种子与幼苗致病力较强。这与李春杰和南志标^[12]对苜蓿种带真菌进行的致病力测定所获得的结果相似。马静芳等^[15]和 Hwang 等^[32]亦报道了数种镰刀菌对苜蓿幼苗的致病性。上述众多研究对本结果提供了进一步的支持。

从小麦根部分离的主要入侵真菌仅镰刀菌和根腐离蠕孢对小麦幼苗致病性较强。对这两种真菌应给予足够的重视,国际上对此亦有类似报道^[33]。

表 3 整个生育期 4 次取样获得的苜蓿与小麦的根部入侵真菌平均分离率(%)

Table 3 Fungal species isolated from roots of lucerne and winter wheat and their frequency of isolation averaged over 4 sampling dates

真菌 Fungus isolated	苜蓿 Lucerne	小麦 Wheat
细交链孢 <i>Alternaria alternata</i>	1.2b	2.7a
根腐离蠕孢 <i>Bipolaris sorokiniana</i>	0.0b	1.0a
多主枝孢 <i>Cladosporium herbarum</i>	1.7b	5.4a
柱孢 <i>Cylindrocarpou destructans</i>	6.6a	1.7b
锐顶镰孢 <i>Fusarium acuminatum</i>	3.6a	2.8a
燕麦镰孢 <i>F. avenaceum</i>	1.7a	1.7a
多隔镰孢 <i>F. decemcellulare</i>	1.8a	2.4a
尖镰孢 <i>F. oxysporum</i>	17.0a	3.9b
半裸镰孢 <i>F. semitectum</i>	1.6a	1.7a
腐皮镰孢 <i>F. solani</i>	6.7a	0.4b
镰刀菌 <i>Fusarium</i> sp.	0.6b	2.2a
壳梭孢 <i>Fusicoccum</i> sp.	0.6a	1.0a
粉红胶帚霉 <i>G. roseum</i>	0.9a	0.4a
胶帚霉 <i>Gliocladium</i> sp.	1.4a	1.9a
叶痣菌 <i>Melasmia</i> sp.	0.0a	0.1a
毛霉 <i>Mucor</i> sp.	0.1a	0.5a
蒲头霉 <i>Mycotypha</i> sp.	0.5a	0.0b
丝蓍霉 <i>Papulaspora</i> sp.	1.6b	12.1a
青霉 <i>Penicillium</i> sp.	0.8a	1.2a
黑团孢 <i>Periconia</i> sp.	0.0b	15.0a
茎点霉 <i>Phoma medicaginis</i>	9.5a	1.7b
疫霉 <i>Phytophthora</i> sp.	0.0b	0.3a
丝核菌 <i>Rhizoctonia</i> sp.	2.0b	4.0a
大孢肉座菌 <i>Selinia</i> sp.	15.4a	0.2b
圆孢霉 <i>Staphylotrichum</i> sp.	0.9a	0.6a
匍柄霉 <i>Stemphylium botryosum</i>	0.3a	0.6a
轮枝菌 <i>Verticillium</i> sp.	0.9a	0.2a
总分离率(%) Total segments yielding colonies	76.6a	64.8a
真菌种类(种) Species number	23	26

* 每行平均数标有不同字母者经 LSD 测定,差异显著 ($P<0.05$) Means within each line followed by the different letters were differed at $P<0.05$ in an analysis of variance (LSD test)

表 4 苜蓿侧根主要入侵真菌的致病力

真菌 Fungal inoculum	相对发芽率(%)		腐烂种子(%)		病情指数	
	Relative germination		Rotted seed		Disease index	
	苜蓿 Lucerne	小麦 Wheat	苜蓿 Lucerne	小麦 Wheat	苜蓿 Lucerne	小麦 Wheat
对照 Control	1. 0a	1. 0a	0. 0f	0. 0a	0. 0d	0. 0f
细交链孢 <i>Alternaria alternata</i>	1. 1a	1. 1a	9. 0e *	0. 0a	61. 6bc	7. 0e
多主枝孢 <i>Cladosporium herbarum</i>	0. 7bc	1. 1a	21. 0c *	0. 0a	73. 1ab	13. 5de
柱孢 <i>Cylindrocarpon destructans</i>	0. 9ab	1. 1a	18. 0cd *	0. 0a	63. 4bc	21. 8cde
锐顶镰孢 <i>Fusarium acuminatum</i>	0. 8ab	0. 7c	14. 0d *	0. 0a	67. 1abc	32. 7cd
锐顶镰孢 <i>2Fusarium acuminatum</i>	1. 1a	0. 8bc	19. 0c *	0. 0a	43. 9c	44. 9bc
燕麦镰孢 <i>F. avenaceum</i>	0. 7bc	0. 7bc	26. 0bc *	0. 0a	63. 8bc	22. 7cde
多隔镰孢 <i>F. decemcellulare</i>	0. 7bc	0. 9bc	29. 0ab *	0. 0a	76. 9a	36. 5cd
尖镰孢 <i>F. oxysporum</i>	0. 4c *	0. 7c	29. 0ab *	0. 0a	84. 7a	94. 5a
尖镰孢 <i>2F. oxysporum</i>	0. 7bc	0. 9bc	21. 0c *	0. 0a	69. 6ab	25. 1cde
半裸镰孢 <i>F. semitectum</i>	0. 9ab	1. 0ab	16. 0cd *	0. 0a	68. 3ab	39. 3cd
腐皮镰孢 <i>F. solani</i>	0. 9ab	1. 1a	12. 0d *	0. 0a	80. 1a	37. 9cd
腐皮镰孢 <i>2F. solani</i>	1. 0a *	1. 1a	5. 0e *	0. 0a	78. 3a	41. 4bcd
镰刀菌 <i>Fusarium</i> sp.	0. 7bc *	1. 0ab	18. 0cd *	0. 0a	59. 6bc	55. 5b
壳梭孢 <i>Fusicoccum</i> sp.	0. 8bc	0. 9bc	11. 0d *	0. 0a	69. 1ab	40. 4bcd
胶帚霉 <i>Gliocladium</i> sp.	1. 0a	0. 9abc	7. 0e *	0. 0a	60. 1bc	6. 3e
粉红胶帚霉 <i>G. roseum</i>	0. 9ab	1. 1a	4. 0e *	0. 0a	60. 2bc	4. 6e
蒲头霉 <i>Mycotypha</i> sp.	0. 9ab	1. 0ab	18. 0cd *	0. 0a	63. 4bc	0. 5f
丝蓴霉 <i>Papulaspora</i> sp.	1. 1a	1. 0b	13. 0d *	0. 0a	43. 9c	20. 3cde
茎点霉 <i>Phoma medicaginis</i>	0. 7bc *	1. 1a	30. 0a *	0. 0a	72. 3ab	0. 4f
丝核菌 <i>Rhizoctonia</i> sp.	0. 9ab *	1. 1a	18. 0cd *	0. 0a	65. 4bc	0. 0f
大孢肉座菌 <i>Selinia</i> sp.	0. 5c *	1. 1a	32. 0a *	0. 0a	89. 5a	32. 6cd
圆孢霉 <i>Staphylotrichum</i> sp.	0. 7bc *	1. 1a	20. 0c *	0. 0a	63. 8bc	59. 6b
匐柄霉 <i>Stemphylium botryosum</i>	0. 7bc *	1. 1a	28. 0ab *	0. 0a	76. 8ab	81. 3a
轮枝菌 <i>Verticillium</i> sp.	0. 9ab	0. 9bc	17. 0cd *	0. 0a	65. 6bc	5. 5e

每行平均数标有不同字母者经 LSD 测定, 差异显著 ($P<0.05$) Means within each line followed by the different letters were differed at $P<0.05$ in an analysis of variance (LSD tests); * 在同一测定项目下, 同种真菌的致病力在苜蓿和小麦上 t 检测差异显著 ($P<0.05$) Indicated means differed between lucerene and wheat for the each combination of fungal species and measurement ($P<0.05$) in an analysis of t test

表 5 小麦根部主要入侵真菌的致病力

真菌 Fungal inoculum	相对发芽率(%)		腐烂种子(%)		病情指数	
	Relative Germination		Rotted seed		Disease index	
	苜蓿 Lucerne	小麦 Wheat	苜蓿 Lucerne	小麦 Wheat	苜蓿 Lucerne	小麦 Wheat
对照 Control	1. 0a	1. 0a	0. 0f	0. 0a	0. 0h	0. 0f
细交链孢 <i>Alternaria alternata</i>	1. 2a	1. 0a	5. 0e *	0. 0a	70. 3bcd	6. 0e
根腐离蠕孢 <i>Bipolaris sorokiniana</i>	1. 0a	0. 9b	7. 0e *	0. 0a	64. 9cde	88. 8a
多主枝孢 <i>Cladosporium herbarum</i>	1. 0a	1. 1a	5. 0e *	0. 0a	45. 1f	0. 2f
柱孢 <i>Cylindrocarpon destructans</i>	0. 9a	1. 0ab	16. 0d *	0. 0a	60. 5cde	30. 3cd
锐顶镰孢 <i>Fusarium acuminatum</i>	0. 9abc	0. 8b	22. 0cd *	0. 0a	68. 6bcd	25. 3cd
锐顶镰孢 <i>2Fusarium acuminatum</i>	0. 5bc *	0. 8b	39. 0a *	0. 0a	88. 2a	28. 0cd
燕麦镰孢 <i>F. avenaceum</i>	0. 7bc	0. 8b	29. 0b *	0. 0a	67. 7bcde	3. 2e
多隔镰孢 <i>F. decemcellulare</i>	1. 0a	1. 0ab	6. 0e *	0. 0a	52. 0ef	44. 9bc
尖镰孢 <i>F. oxysporum</i>	0. 4c *	0. 9b	41. 0a *	0. 0a	83. 3ab	24. 3cd
尖镰孢 <i>2F. oxysporum</i>	0. 9ab	0. 8b	26. 0c *	0. 0a	76. 7bc	20. 4cd
半裸镰孢 <i>F. semitectum</i>	0. 9ab	1. 0a	13. 0de *	0. 0a	68. 4bcd	18. 2d
腐皮镰孢 <i>F. solani</i>	0. 9ab	1. 0a	11. 0e *	0. 0a	54. 8def	34. 1cd
腐皮镰孢 <i>2F. solani</i>	0. 9ab	1. 1a	25. 0c *	0. 0a	68. 4bcd	32. 4cd
镰刀菌 <i>Fusarium</i> sp.	1. 0a	1. 0a	20. 0cd *	0. 0a	69. 2bcd	99. 1a
壳梭孢 <i>Fusicoccum</i> sp.	0. 9ab	1. 1a	16. 0d *	0. 0a	65. 2cde	33. 9cd
胶帚霉 <i>Gliocladium</i> sp.	1. 1a	1. 1a	4. 0e *	0. 0a	37. 0g	5. 5e
粉红胶帚霉 <i>G. roseum</i>	0. 9ab *	1. 0a	13. 0de *	0. 0a	67. 6bcde	13. 9d
叶痣菌 <i>Melasmia</i> sp.	0. 6bc *	1. 1a	9. 0e *	0. 0a	62. 6cde	6. 5e
黑团孢 <i>Periconia</i> sp.	0. 9abc	1. 1a	21. 0cd *	0. 0a	71. 7bcd	6. 4e
丝蓴霉 <i>Papulaspora</i> sp.	0. 9ab	1. 0ab	25. 0c *	0. 0a	69. 3bcd	15. 7d
茎点霉 <i>Phoma medicaginis</i>	1. 0a	0. 9ab	3. 0e *	0. 0a	46. 6ef	23. 3cd
疫霉 <i>Phytophthora</i> sp.	0. 9abc	0. 9b	18. 0d *	0. 0a	65. 0cde	24. 1cd
丝核菌 <i>Rhizoctonia</i> sp.	1. 0a	1. 1a	10. 0e *	0. 0a	49. 5ef	0. 9f
大孢肉座菌 <i>Selinia</i> sp.	0. 8bc *	1. 0a	8. 0e *	0. 0a	53. 5def	23. 5cd
圆孢霉 <i>Staphylotrichum</i> sp.	1. 0a	1. 1a	14. 0de *	0. 0a	45. 2f	60. 2b
匐柄霉 <i>Stemphylium botryosum</i>	0. 9abc	1. 1a	16. 0d *	0. 0a	63. 0cde	51. 3bc
轮枝菌 <i>Verticillium</i> sp.	1. 2a	1. 1a	10. 0e *	0. 0a	65. 6cde	1. 7ef

每行平均数标有不同字母者经 LSD 测定, 差异显著 ($P<0.05$) Means within each line followed by the different letters were differed at $P<0.05$ in an analysis of variance (LSD tests); * 在同一测定项目下, 同种真菌的致病力在苜蓿和小麦上 t 检测差异显著 ($P<0.05$) Indicated means differed between lucerene and wheat for the each combination of fungal species and measurement ($P<0.05$) in an analysis of t test

本研究的重要发现之一,是苜蓿、小麦根部入侵真菌对苜蓿种子和幼苗的致病力分别强于对小麦种子和幼苗的致病力。这与 Kollmorgen^[5]曾报道自小麦分离到的燕麦镰孢对豆科牧草地三叶和蒺藜苜蓿的致病力强于对小麦的致病力的研究结果相类似。因此在轮作中,小麦田种苜蓿,对苜蓿的幼苗建植应该给予重视,可考虑用杀菌剂拌种减少土壤中存在的病原真菌对种子和幼苗的危害,从而提高田间出苗率,促进苜蓿草地的建植^[34, 35]。

References:

- [1] Sheng T S and Ren J Z. Soil erosion and farming system in the Loess Plateau. *Research in Agricultural Economics*, 1980, **7**:2~7.
- [2] Ren J Z. Ecological productivity of grassland farming system on the Loess Plateau of China. In: Ren J. Z. ed. *Proceedings of International Conference on the Farming Systems on the Loess Plateau of China*. Lanzhou: Gansu Science and Technology Press, 1992. 3~6.
- [3] Gao C Y, Zhang X H and Liu Z H, *et al.* Comprehensive evaluation of 8 rotation systems used in the Loess Plateau of Qingyang Prefecture, Gansu Province. In: Ren J. Z. ed, *China-Australia Gansu Grassland Agricultural Systems Research and Development Project*. Lanzhou: Gansu Science and Technology Press, 1994. 23~33.
- [4] Nan Z B. Establishing sustainable management system for diseases of pasture crops in China, *Acta Prataculturae Sinica*, 2000, **9**(2):1~9.
- [5] Kollmorgen J F. The pathogenicity of *Fusarium avenaceum* to wheat and legumes and its association with crop rotations. *Australian Journal of Experimental Agriculture and Animal Husbandry*, 1974, **14**:572~576.
- [6] Nan Z B and Li C J. Fungal Diseases of Pasture Plants Recorded in China—a Check List. *Pratacultural Science*, 1994, (Suppl.):1~160.
- [7] Nan Z B. Lucerne diseases found in China and their integrated management system. *Animal Science and Veterinary Medicine*, 2001, **18**(4):M1~M4.
- [8] Sheng X L, Jin X L and Zheng G, *et al.* Root rot pathogens of wheat growing in Gansu province and their pathogenicity. *Acta Agriculturae Boreali-occidentalis Sinica*, 1997, **6**(1):35~38.
- [9] Li G B, Zheng S M and Li Z Q. *Integrated Management of Wheat Pests*. Beijing, China Agricultural Science and Technology Press, 1990. 274~287.
- [10] Graham J H, Frosheiser F I and Stuteville D L. *Compendium of Alfalfa Diseases*. Minnesota, USA, The American Phytopathological Society, 1979. 1~65.
- [11] Nan Z B. Fungicide seed treatments of sainfoin control seed-borne and root-invading fungi. *New Zealand Journal of Agricultural Research*, 1995, **38**:413~420.
- [12] Li C J and Nan Z B. Seedborne fungi of Lucerne and their pathogenicity test. *Acta Prataculturae Sinica*, 2000, **9**(1):27~36.
- [13] Nan Z B. Survey of pasture crop diseases in the Loess Plateau. *Pratacultural Science*, 1990, **7**(4):30~34.
- [14] Liu R, Song D H and Xue F X. Lucerne disease in the arid and semi arid regions in the central part of Gansu province. In: Wang S X, jin J H and Yu Y S, eds. *A Study of Establishing Pastures for Developing Livestock Production in the Central Part of Gansu Province*. Beijing, China Meteorological Press, 1991. 182~185.
- [15] Ma J F, Li M Q, Zhang Z H, *et al.* Study on relationship between phenylalanine ammonia-lyase (PAL) and resistance to crown and root rot in alfalfa cultivars. *Acata Prataculturae Sinica*, 2003, **12**(4):35~39.
- [16] Wang X W, Yu N L and Ma D C. Lucerne diseases and their distribution in Xinjiang. *Acta Prataculturae Sinica*, 1998, **7**(2):48~52.
- [17] Li L, Zai Q C and Hu C S. *Fusarium* root rot of wheat: identification and control. *Plant Protection*, 1989, **15**(6):16~19.
- [18] Yang Q G and Chen X P. Survey of wheat root rot in eastern Gansu Province. *Gansu Agricultural Science and Technology*, 1989, **4**:32~36.
- [19] Chen H D, Wang Z M and Li Q X, *et al.* Brown foot rot of wheat in Jiangsu Province. *Journal of Jiangsu Agricultural College*, 1996, **17**(2):47~50.
- [20] Cao K Q, Tang T C and Shi W C. The major wheat diseases and their distribution in Hebei Province. *Journal of Hebei Agricultural University*, 2000, **23**(4):57~61.
- [21] Skipp R A, Christensen M J and Nan Z B. Invasion of red clover (*Trifolium pratense*) roots by soilborne fungi. *New Zealand Journal of Agricultural Research*, 1986, **29**:305~313.
- [22] Thornton R H. Studies of fungi in pasture soils. I. Fungi associated with live roots. *New Zealand Journal of Agricultural Research*, 1965, **8**(3):417~449.
- [23] Wang 万方数据 *Diseases of Economic Plants in Henan Province*. Zhengzhou, Henan Science and Technology Press, 1994. 8~19.
- [24] Nan Z B. Pasture diseases and strategy for integrated disease management in the Qinghai-tibetan Plateau. In: Luosang L. D. and Hu Z Z.

eds. *Development of Grassland Husbandry and Ecological Environments in the Qinghai - Tibetan Plateau*. Beijing, China Tibetan Press, 2000. 143~153.

- [25] Salt G A. The increasing interest in minor pathogens. In: Schippers and Game. ed: *Soil-borne Plant Pathogens*, London, Academic Press, 1979. 289~312.
- [26] Skipp R A, Latch G C M., Christensen M J. Fungi invasion of clover and grass in New Zealand pasture soils. In: Rovira A. and Cook J, eds. *Ecology and Management of Soil-borne Plant Pathogens*. The American Phytopathological Society, 1985. 66~88.
- [27] Wilhelm S. Parasitism and pathogenesis of root-disease fungi. In: Holton C S, Fischer G W, Fulton R W, eds. *Plant Pathology Problems and Progress*. Madison USA, Univ of Wisconsin Press, 1959. 356~366.
- [28] Wilhelm S W, Nelson, P E. A concept of rootlet health of strawberries in pathogen-free field soil achieved by fumigation. In: Toussoun, T. A., Bega, R. V., and Nelson, P. E. eds. *Root Disease and Soil-borne Pathogens*. University California Press. USA, 1970. 208~215.
- [29] Hancock J G. Fungal infection of feeder roots of alfalfa. *Phytopathology*, 1985, **75**:1112~1120.
- [30] Hancock J G. Fungal rootlet colonization and forage yields of alfalfa in fungicide-treated field plots. *Plant Disease*, 1993, **77**:601~608.
- [31] Fouly H M, Pedersen W L, Wilkinson H T, et al. Wheat root rotting fungi in the "old" and "new" agricultural lands of Egypt. *Plant Disease*, 1996, **80**(11):1298~1300.
- [32] Hwang S F, Gossen B D, Turnbull G D, et al. Seedbed preparation, timing of seeding, fertility and root pathogens affect establishment and yield of alfalfa. *Canadian Journal of Plant Science*, 2002, **82**:371~381.
- [33] Smiley R W, Patterson L M. Pathogenic fungi associated with Fusarium foot rot of winter wheat in the semiarid Pacific Northwest. *Plant Disease*, 1996, **80** (8):944~949.
- [34] Nan Z B and Re B K. Effects of fungicide seed treatments on Lucerne seed germination and seedling emergence. *Gansu Animal Science and Veterinary Medicine*, 1995, **3**:10~12.
- [35] Wang Y. R., Yu L. and Sun J. H. Effects of fungicide seed treatments on the emergence of lucerne and Sudan grass seed lots with different seed vigor. *Pratacultural Science*, 1997, **14**(6):12~16.

参考文献:

- [1] 盛彤笙, 任继周. 黄土高原的土壤侵蚀与农业格局. 农业经济问题, 1980, **7**:2~7.
- [2] 任继周. 黄土高原草地的生态生产力特征. 见:任继周主编. 黄土高原农业系统国际学术会议论文集, 兰州: 甘肃科学技术出版社, 1992. 3~6.
- [3] 高崇岳, 张小虎, 刘照辉, 等. 适宜庆阳黄土高原地区的八种轮作方式综合评价. 见:任继周主编. 中澳技术合作甘肃草地农业系统研究与发展项目. 兰州: 甘肃科学技术出版社, 1994. 23~33.
- [4] 南志标. 建立中国的牧草病害可持续管理体系. 草业学报, 2000, **9**(2):1~9.
- [6] 南志标, 李春杰. 中国牧草真菌病害名录. 草业科学, 1994(增刊):1~160.
- [7] 南志标. 我国的苜蓿病害及其综合防治体系. 动物科学与动物医学, 2001, **18**(4):M1~M4.
- [8] 盛秀兰, 金秀琳, 郑果, 等. 甘肃省小麦根病病原种类及致病性研究. 西北农业学报, 1997, **6**(1):35~38.
- [9] 李光博, 曾士迈, 李振岐. 小麦病虫草鼠害综合治理. 北京: 中国农业出版社, 1990. 274~287.
- [12] 李春杰, 南志标. 苜蓿种带真菌及其致病性测定. 草业学报, 2000, **9**(1):27~36.
- [13] 南志标. 陇东黄土高原栽培牧草真菌病害调查与分析. 草业科学, 1990, **7**(4):30~34.
- [14] 刘若, 宋东宏, 薛福祥, 等. 甘肃中部干旱半干旱地区苜蓿的病害. 见:王素香, 金巨和, 余优森主编. 甘肃中部种草养畜农牧结合研究. 北京: 气象出版社, 1991. 182~185.
- [15] 马静芳, 李敏权, 张自和, 等. 苯丙氨酸解氨酶与苜蓿种质根和根颈腐烂病抗病性研究. 草业学报, 2003, **12**(4):35~39.
- [16] 王雪薇, 喻宁莉, 马德成. 新疆苜蓿病害种类和分布的初步研究. 草业学报, 1998, **7**(2):48~52.
- [17] 李良, 瞿青茶, 胡初生, 等. 小麦镰刀菌根腐病原鉴定及其防治. 植物保护, 1989, **15**(6):16~19.
- [18] 杨勤贵, 陈希平. 陇东地区小麦根腐病的调查报告. 甘肃农业科技, 1989, **4**:32~36.
- [19] 陈厚德, 王影明, 李清锐, 等. 江苏小麦茎基褐腐病的初步研究. 江苏农学院学报, 1996, **17**(2):47~50.
- [20] 曹克强, 唐铁朝, 石文川, 等. 河北省小麦主要病害种类及地域分布. 河北农业大学学报, 2000, **23**(4):57~61.
- [23] 王守正. 河南省经济植物病害志. 郑州: 河南科学技术出版社, 1994. 8~19.
- [24] 南志标. 高原牧草病害及其综合治理策略. 见:洛桑灵智多杰, 胡自治主编. 青藏高原的草业发展与生态环境. 北京: 中国藏学出版社, 2000. 143~153.
- [34] 南志标, 李春杰. 杀菌剂拌种对苜蓿萌发与出苗的影响. 甘肃畜牧兽医, 1995, **3**:10~12.
- [35] 王彦荣, 余玲, 孙建华. 杀菌剂拌种对紫花苜蓿、苏丹草不同活力种批出苗的影响. 草业科学, 1997, **14**(6):12~16.