

DOI:10.11686/cyxb2017089

<http://cyxb.lzu.edu.cn>

李春杰, 陈泰祥, 赵桂琴, 南志标. 燕麦病害研究进展. 草业学报, 2017, 26(12): 203-222.

LI Chun-Jie, CHEN Tai-Xiang, ZHAO Gui-Qin, NAN Zhi-Biao. Progress in research on diseases of *Avena sativa*. Acta Prataculturae Sinica, 2017, 26(12): 203-222.

燕麦病害研究进展

李春杰¹, 陈泰祥¹, 赵桂琴², 南志标^{1*}

(1. 草地农业生态系统国家重点实验室, 农业部草牧业创新重点实验室, 兰州大学草地农业科技学院, 甘肃 兰州 730020;

2. 甘肃农业大学草业学院, 甘肃 兰州 730070)

摘要: 病害是燕麦生产的主要限制因素之一, 直接影响燕麦的产量和品质, 进而影响草地农业生态系统的生产力。

本研究通过国内外相关文献的回顾, 对燕麦病害的病原学、种带真菌、病害的发生规律、品种抗病性、防治措施等方面的研究进展加以综述, 探讨了国内的研究现状与国外存在的差距, 展望了我国燕麦病害的研究前景和发展目标。

关键词: 燕麦; 病害; 种带真菌; 发生规律; 抗病性; 防治措施

Progress in research on diseases of *Avena sativa*

LI Chun-Jie¹, CHEN Tai-Xiang¹, ZHAO Gui-Qin², NAN Zhi-Biao^{1*}

1. State Key Laboratory of Grassland Agro-ecosystems, Key Laboratory of Grassland Livestock Industry Innovation, Ministry of Agriculture, College of Pastoral Agriculture Science and Technology, Lanzhou University, Lanzhou 730020, China; 2. College of Pratacultural Science, Gansu Agricultural University, Lanzhou 730070, China

Abstract: Disease is one of the limiting factors for the production of oats (*Avena sativa*), affecting crop yield and quality directly, and the productivity of grassland agro-ecosystems indirectly as well. Based on a review of published domestic and international literatures, the etiology, seed-borne fungi, rule of occurrence, disease resistance and control measurements of oat diseases are reported. Domestic research progress is compared with international efforts and future development goals for oat disease research are also presented.

Key words: *Avena sativa*; disease; seed-borne fungi; outbreak occurrence; disease resistance; control measurements

燕麦(*Avena sativa*), 属禾本科(Gramineae)早熟禾亚科(Pooideae)燕麦族(Aveneae)燕麦属(*Avena*)植物^[1], 富含蛋白质、脂肪、维生素、碳水化合物、淀粉、抗氧化物和矿物质等多种营养成分^[2], 具有调节血脂、延缓衰老、改善血液循环、降低胆固醇以及促进伤口愈合等保健功能^[2], 是优良的营养食品之一, 美国食品和药品监督局(FDA)已经把燕麦认可为一种功能性食品。燕麦的叶片、秸秆多汁柔嫩, 适口性好, 秸秆中的粗蛋白、粗脂肪以及无氮抽出物的含量高, 难以消化的纤维含量低^[3], 是农牧区冬春补饲和抗灾保畜的优良饲草料, 在畜牧业发展中具有举足轻重的地位^[3]。燕麦多生长在高寒、贫瘠和干旱的极端环境中, 抗逆性较强^[4], 已经成为生态脆弱区不可替代的特色粮饲作物。燕麦一般分为裸粒型的裸燕麦和带稃型的皮燕麦两大类。我国西部被认为是裸燕麦的起源地^[5]。我国种植燕麦距今已经有五千多年的历史, 经过长期的自然选择和人工选择演化出了不同的物种

收稿日期: 2017-03-03; 改回日期: 2017-06-06

基金项目: 国家燕麦产业技术体系燕麦病害防控岗位(CARS-08-C-1), 教育部创新团队(IRT_17R50), 公益性行业科技专项(20130357), 中央高校基本科研业务费(lzujbky-2016-bt10, lzujbky-2017-kb11)和 111 引智基地(B12002)资助。

作者简介: 李春杰(1968-), 男, 甘肃镇原人, 教授。E-mail: chunjie@lzu.edu.cn

* 通信作者 Corresponding author. E-mail: zhibiao@lzu.edu.cn

(变种)和多样的品种,使我国有较丰富的种质资源^[6]。我国种植的燕麦以裸燕麦为主,播种面积占 90%以上^[6],主产区包括:内蒙古、青海、陕西、山西、吉林和甘肃等省(区)^[2]。

病害是饲用作物生产的主要限制因素之一,其不仅影响作物的产量和品质,部分病原菌亦可产生有毒的次生代谢产物,导致取食家畜的消化代谢等功能异常,降低家畜的生产力,影响草地农业生态系统的持久力和生产力^[7-12]。病害在我国以及世界多地的燕麦种植区普遍发生,其发生直接影响着燕麦产业的健康稳定发展。然而,我国对燕麦病害的研究相对较少,存在主要病害种类、病原种类及其分布等家底不清的问题,对很多主要病害以及多发病害缺乏深入系统的研究^[11]。在南志标等^[11]主编的《中国牧草真菌病害名录》中,记录了我国燕麦的 27 种真菌病害,其中的 8 种病害分布不详;在中国知网(CNKI)数据库中,自 1955 年以来发表有关燕麦病害的论文仅有 28 篇,多集中在不同燕麦品种对黑穗病(*Ustilago* spp.)、秆锈病(*Puccinia graminis*)、白粉病(*Blumeria graminis*)、叶斑病(*Drechslera avenacea*)的抗病性评价以及少数病害(如散黑穗病)的防治研究。

鉴于国家当前的农业结构调整、发展草牧业、生态环境建设等一系列政策措施的支持,燕麦作为一种优良的粮饲兼用作物,其集约化的种植面积将会逐年增加^[13],势必会引起病害的普遍发生和严重危害。因此,本研究拟就国内外燕麦病害的病原、种带真菌、发生规律、品种抗病性和防治措施等方面加以综述,分析我国燕麦病害及其治理中存在的问题与对策,探讨病害研究与发展前景,以期为燕麦病害深入研究和可持续管理提供基础资料,为燕麦的绿色生产提供理论依据和科学指导。

1 燕麦病害及其病原种类

截至目前,国内外报道的燕麦病害共 33 种,包括:由 40 种真菌引致的 25 种真菌病害(表 1)^[14-88]、6 种细菌引致的 4 种细菌性病害(表 2)和 5 种病毒引致的 4 种病毒病(表 3)。

1.1 真菌病害

多种真菌病害在国内外燕麦种植区广泛分布,但病害种类差异较大。25 种真菌病害中,仅国外发生而我国未见研究报道的病害有 7 种,分别是:麦角病(*Claviceps purpurea*),腐霉根腐病(*Pythium* spp.),离蠕孢叶斑病(*Bipolaris victoriae*),纹枯病(*Rhizoctonia cerealis*),坚黑穗病(*Ustilago segetum*),雪霉灰斑病(*Typhula incarnata*)以及壳针孢叶斑病(*Septoria avenae*)。我国已报道的坚黑穗病原为 *U. hordei* 和 *U. levis*,暂未发现 *U. segetum*。仅中国有文献报道而国外未见发生的病害有 5 种,分别是:橡胶树平脐蠕孢叶斑病(*Bipolaris heveae*)^[14],全蚀病(*Gaeumannomyces graminis* var. *avenae*),白绢病(*Corticium centrifugum*),条锈病(*Puccinia striiformis*)和鞘腐病(*Dactylobotrys graminicola*)(表 1)。

国内已报道的真菌病害中,白粉病(*B. graminis*)、炭疽病(*C. graminicola*)、叶斑病(*D. avenacea*)、镰刀菌根腐病(*Fusarium* spp.)、冠锈病(*P. coronata*)、秆锈病(*P. graminis*)、条纹病(*P. avenae*)、坚黑穗病(*U. hordei*)和散黑穗病(*U. avenae*)在大多数省份均有分布。而离蠕孢叶斑病(*B. heveae*、*B. sorokiniana*)、白绢病(*C. centrifugum*)、鞘腐病(*D. graminicola*)、全蚀病(*G. graminis*)、赤霉病(*G. zeae*)、黑痣病(*P. graminis*)、梭斑病(*P. oryzae*)和丝核菌根腐病(*R. solani*)只在个别省份中有分布。

1.2 细菌病害

有关燕麦细菌性病害研究与报道相对较少,全世界仅 4 种,我国仅 1 种(表 2)。细菌性斑点病(*Pseudomonas syringae* pv. *coronafaciens*)、条纹叶枯病(*P. syringae* pv. *striaefaciens*)和细菌性黑节病(*P. syringae* pv. *atrofaciens*)在世界多地广泛分布,而 *P. avenae* 引起的斑点病分布范围相对较窄,仅在美国、土耳其和葡萄牙有发生。Reid 于 1938 年首次在新西兰发现了燕麦细菌性条纹叶枯病的发生,病原为 *P. coronafaciens*^[13],随后世界多地如日本^[77]、德国、阿根廷、澳大利亚、加拿大^[25,78-79]等地相继报道了此病害,但病原为 *P. syringae* pv. *striaefaciens*。黑颖条斑病(*X. campestris* pv. *translucens*)仅发生于美国。4 种已报道的细菌病害中我国仅发现了河北张家口由 *P. coronafaciens* 引起的叶枯病,此地区还发现了疑似细菌性黄叶病的病叶,镜检发现了明显的菌溢现象,病原菌可产生黄色色素,但分类地位暂未确定^[80]。

表 1 燕麦真菌病害种类与分布

Table 1 Oat fungal disease and its distribution

病害 Disease	病原菌 Fungal pathogen	分布 Distribution
镰刀菌根腐病 Fusarium root rot	燕麦镰刀菌	国内分布不详 The domestic distribution is unknown ^[11] .
	<i>Fusarium avenaceum</i>	国外 Abroad: 美国 America ^[20] , 加拿大 Canada ^[22] , 挪威 Norway ^[35] , 巴基斯坦 Pakistan ^[36] , 波兰 Poland ^[37] .
	大刀镰刀菌 <i>F. culmorum</i>	国内分布不详 The domestic distribution is unknown ^[11] .
		国外 Abroad: 美国 America ^[20] , 加拿大 Canada ^[22] , 澳大利亚 Australia ^[23] , 新西兰 New Zealand ^[28] , 芬兰 Finland ^[34] .
	禾谷镰刀菌 <i>F. graminearum</i>	国内分布不详 The domestic distribution is unknown ^[11] .
		国外 Abroad: 加拿大 Canada ^[22] , 挪威 Norway ^[35] , 波兰 Poland ^[37] , 澳大利亚 Australia ^[38] , 德国 Germany ^[39] .
	雪腐镰刀菌 <i>F. nivale</i>	国内分布不详 The domestic distribution is unknown ^[11] .
		国外未见 Not found abroad.
长直喙镰刀菌 <i>F. orthoceras</i>		国内分布不详 The domestic distribution is unknown ^[11] .
		国外未见 Not found abroad.
	早熟禾镰刀菌 <i>F. poae</i>	国内分布不详 The domestic distribution is unknown ^[11] .
藤草镰刀菌 <i>F. scripi</i>		国内分布不详 The domestic distribution is unknown ^[11] .
		国外未见 Not found abroad.
梭斑病 Spindle spot	稻瘟菌 <i>Pyricularia oryzae</i>	国内分布不详 The domestic distribution is unknown ^[18] .
		国外未见 Not found abroad.
条锈病 Stripe rust	条形柄锈菌 <i>P. striiformis</i>	国内 China: 青海 Qinghai ^[11,18] , 广西 Guangxi ^[11,18] , 宁夏 Ningxia ^[18] .
		国外未见 Not found abroad.
炭疽病 Anthracnose	禾生炭疽菌	国内 China: 新疆 Xinjiang ^[11] , 河北 Hebei ^[11] , 山西 Shanxi ^[11] , 黑龙江 Heilongjiang ^[11] , 广
	<i>Colletotrichum graminicola</i>	西 Guangxi ^[11] , 贵州 Guizhou ^[11] , 云南 Yunnan ^[11] , 内蒙古 Inner Mongolia ^[11,15] .
		国外 Abroad: 美国 America ^[16-20] , 巴西 Brazil ^[21] , 加拿大 Canada ^[22] .
霜霉病 Downy mildew	大抱指疫霉	国内 China: 甘肃 Gansu ^[11] , 新疆 Xinjiang ^[11,17] .
	<i>Sclerophthora macrospora</i>	国外 Abroad: 澳大利亚 Australia ^[23-24] , 美国 America ^[24-26] , 法国 France ^[24,27] , 意大利 Italy ^[24,27] , 新西兰 New Zealand ^[28] .
秆锈病 Black stem rust	禾谷柄锈菌 <i>P. graminis</i>	国内 China: 吉林 Jilin ^[11,18] , 河北 Hebei ^[11,18] , 山西 Shanxi ^[11,18] , 内蒙古 Inner Mon-
		golia ^[11,18] , 辽宁 Liaoning ^[11,18] , 陕西 Shaanxi ^[11,18] , 甘肃 Gansu ^[11,18] 等 <i>et al.</i>
		国外 Abroad: 多地分布 Widely distributed ^[25] .
麦角病 Ergot	麦角菌 <i>Claviceps purpurea</i>	国内未见 Not found in China.
		国外 Abroad: 巴西 Brazil ^[21] , 加拿大 Canada ^[22] , 澳大利亚 Australia ^[23] , 美国 America ^[27] , 意大利 Italy ^[29] .
腐霉根腐病	德巴利腐霉	国内未见 Not found in China.
Pythium root rot	<i>Pythium debaryanum</i>	国外 Abroad: 美国 America ^[20,25,27,29-30] .
	畸雌腐霉 <i>P. irregulare</i>	国内未见 Not found in China.
		国外 Abroad: 美国 America ^[21,25,30] , 南非 South-Africa ^[31] , 加拿大 Canada ^[32] .
	终极腐霉 <i>P. ultimum</i>	国内未见 Not found in China.
		国外 Abroad: 美国 America ^[20,25,27,30] , 南非 South-Africa ^[31] .
珊瑚菌雪霉病	核瑚菌 <i>Typhula idahoensis</i>	国内分布不详 The domestic distribution is unknown ^[11] .
Typhula snow mold		国外分布不详 The abroad distribution is unknown ^[25] .

续表 1 Continued Table 1

病害 Disease	病原菌 Fungal pathogen	分布 Distribution
坚黑穗病 Covered smut	核瑚菌 <i>T. incarnata</i>	国内未见 Not found in China. 国外 Abroad:美国 America ^[67] .
	核瑚菌 <i>T. ishikariensis</i>	国内分布不详 The domestic distribution is unknown ^[11] . 国外分布不详 The abroad distribution is unknown ^[25] .
	大麦坚黑粉菌	国内 China:四川 Sichuan ^[11,18,61] ,青海 Qinghai ^[11,18,61] ,陕西 Shaanxi ^[11,18,61] ,河北 Hebei ^[11,18,61] ,山西 Shanxi ^[11,18,61] ,内蒙古 Inner Mongolia ^[11,18,61] ,辽宁 Liaoning ^[11,18,61] ,福建 Fujian ^[11,18,61] ,新疆 Xinjiang ^[11,18,61] ,江苏 Jiangsu ^[11,18,61] ,山东 Shandong ^[11,18,61-63] ,甘肃 Gansu ^[11,18,62] ,吉林 Jilin ^[11,18,63] 等 <i>et al.</i>
	燕麦坚黑粉菌 <i>U. levis</i>	国外 Abroad:澳大利亚 Australia ^[38] ,智利 Chile ^[57] ,保加利亚 Bulgaria ^[58] ,以色列 Israel ^[59] ,韩国 Korea ^[60] ,西班牙 Spain ^[61] 等 <i>et al.</i> 国内 China:甘肃 Gansu ^[11] ,新疆 Xinjiang ^[11,17,56] . 国外 Abroad:智利 Chile ^[64] ,美国 America ^[64] .
散黑穗病 Loose smut	黑粉菌 <i>U. segetum</i>	国内未见 Not found in China. 国外 Abroad:美国 America ^[27] ,澳大利亚 Australia ^[45] .
	燕麦散黑粉菌 <i>U. avenae</i>	国内 China:四川 Sichuan ^[11] ,新疆 Xinjiang ^[11,17,56] ,甘肃 Gansu ^[11,18] ,陕西 Shaanxi ^[11,18] ,河北 Hebei ^[11,18] ,内蒙古 Inner Mongolia ^[11,18] ,辽宁 Liaoning ^[11,18] ,福建 Fujian ^[11,18] ,吉林 Jilin ^[11,63] ,山西 Shanxi ^[11,65] ,等 <i>et al.</i> 国外 Abroad:多地 Widely distributed ^[25] .
白粉病 Powdery mildew	禾布氏白粉菌 <i>Blumeria graminis</i>	国内 China:甘肃 Gansu ^[11] ,浙江 Zhejiang ^[11] ,广西 Guangxi ^[11] ,新疆 Xinjiang ^[18,56] . 国外 Abroad:白俄罗斯 Byelorussia ^[50] ,欧洲 Europe ^[51] ,新西兰 New Zealand ^[52] ,波兰 Poland ^[53] ,俄罗斯 Russia ^[54] ,瑞士 Switzerland ^[55] .
颈腐、叶斑病 Crown rot, leaf spot	燕麦德氏霉 <i>Drechslera avenacea</i>	国内 China:青海 Qinghai ^[47] ,新疆 Xinjiang ^[48] ,内蒙古 Inner Mongolia ^[48-49] ,贵州 Guizhou ^[25,49] ,吉林 Jilin ^[49] ,江苏 Jiangsu ^[49] ,四川 Sichuan ^[49] ,台湾 Taiwan ^[49] ,黑龙江 Heilongjiang ^[49] ,山西 Shanxi ^[49] . 国外 Abroad:加拿大 Canada ^[22,38] ,美国 America ^[20,22,46] ,多米尼加 Dominica ^[25] ,波兰 Poland ^[37] ,澳大利亚 Australia ^[45] .
离蠕孢叶斑病 Bipolaris leaf spot	橡胶树平脐蠕孢 <i>Bipolaris heveae</i>	国内 China:辽宁 Liaoning ^[42] . 国外未见 Not found abroad.
	根腐离蠕孢 <i>B. sorokiniana</i>	国内 China:辽宁 Liaoning ^[42] ,西藏 Tibet ^[43] . 国外 Abroad:巴西 Brazil ^[21] ,美国 America ^[25,40] ,加拿大 Canada ^[32] ,埃塞俄比亚 Ethiopia ^[41] .
	维多利亚平脐蠕孢 <i>B. victoriae</i>	国内未见 Not found in China. 国外 Abroad:巴西 Brazil ^[23] ,美国 America ^[25,44] ,澳大利亚 Australia ^[45] .
白绢病 Southern blight	伏革菌属 <i>Corticium centrifugum</i>	国内 China:台湾 Taiwan ^[18,71] . 国外未见 Not found abroad.
鞘腐病 Sheath rot	禾生指葡孢霉 <i>Dactyloctenrys graminicola</i>	国内 China:甘肃 Gansu ^[74] . 国外未见 Not found abroad.
赤霉病 Scab	玉蜀赤霉菌 <i>Gibberella zeae</i>	国内 China:河北 Hebei ^[11,18] ,黑龙江 Heilongjiang ^[11,18] ,湖北 Hubei ^[18] ,浙江 Zhejiang ^[71] ,台湾 Taiwan ^[72] . 国外 Abroad:澳大利亚 Australia ^[38] ,加拿大 Canada ^[22] ,挪威 Norway ^[29] ,波兰 Poland ^[53] ,美国 America ^[64] ,苏格兰 Scotland ^[69] .
冠锈病 Crown rust	燕麦冠锈菌 <i>Puccinia coronata</i>	国内 China:河北 Hebei ^[11,18] ,内蒙古 Inner Mongolia ^[11,18] ,辽宁 Liaoning ^[11,18] ,广西 Guangxi ^[11,18] ,云南 Yunnan ^[11,18] ,贵州 Guizhou ^[11,18] ,甘肃 Gansu ^[11,18] ,江西 Jiangxi ^[11,18] ,台湾 Taiwan ^[11,18] ,湖南 Hunan ^[11,18] ,黑龙江 Heilongjiang ^[11,18] ,新疆 Xinjiang ^[18,56] ,四川 Sichuan ^[11,61] ,吉林 Jilin ^[11,63] . 国外 Abroad:多地分布 Widely distributed ^[25] .

续表 1 Continued Table 1

病害 Disease	病原菌 Fungal pathogen	分布 Distribution
镰刀菌雪霉病 Fusarium snow mold	雪腐镰刀菌 <i>F. nivale</i>	国内未见 Not found in China. 国外 Abroad:美国 America ^[20] ,加拿大 Canada ^[66] .
全蚀病 Take-all (white head)	禾谷顶囊壳燕麦变种 <i>Gaeuman- nomyces graminis</i> var. <i>avenae</i> 禾谷顶囊壳 <i>G. graminis</i>	国内 China:浙江 Zhejiang ^[18] . 国外未见 Not found abroad. 国内分布不详 The domestic distribution is unknown ^[70] . 国外 Abroad:美国 America ^[20] ,加拿大 Canada ^[22] .
丝核菌根腐病 Rhizoc- tonia root rot	立枯丝核菌 <i>Rhizoctonia solani</i>	国内 China:内蒙古 Inner Mongolia ^[75] . 国外 Abroad:匈牙利 Hungary ^[75] .
纹枯病 Sharp eyespot	禾谷丝核菌 <i>R. cerealis</i>	国内未见 Not found in China. 国外 Abroad:美国 America ^[25] ,英国 England ^[76] .
壳针孢叶斑病 Septoria speckled leaf blotch	燕麦壳针孢 <i>Septoria avenae</i>	国内未见 Not found in China. 国外 Abroad:新西兰 New Zealand ^[28] ,加拿大 Canada ^[29] ,澳大利亚 Australia ^[45] ,挪威 Norway ^[68] ,苏格兰 Scotland ^[69] .
条纹病 Stripe	燕麦核腔菌 <i>Pyrenophora avenae</i>	国内 China:河北 Hebei ^[11,18] ,山西 Shanxi ^[11,18] ,内蒙古 Inner Mongolia ^[11,18] ,辽宁 Liaoning ^[11,18] ,台湾 Taiwan ^[18,63,72] ,吉林 Jilin ^[63] . 国外 Abroad:新西兰 New Zealand ^[28] ,芬兰 Finland ^[29] ,德国 Germany ^[29] ,意大利 Ita-ly ^[29] ,爱尔兰 Ireland ^[29] ,澳大利亚 Australia ^[38] ,苏格兰 Scotland ^[69] ,墨西哥 Mexico ^[74] 等 <i>et al.</i>
黑痣病 Tar spot	禾黑痣菌 <i>Phyllachora graminis</i>	国内 China:山西 Shanxi ^[65] . 国外 Abroad:美国 America ^[73] .

表 2 燕麦细菌病害种类与分布
Table 2 Oat bacterial disease and its distribution

病害 Disease	病原菌 Bacterial pathogen	分布 Distribution
细菌性条纹叶枯病 Bacterial stripe blight	丁香假单胞菌条纹致病变种 <i>Pseudomonas syringae</i> pv. <i>striafaciens</i> 晕斑假单胞菌 <i>P. coronafa- ciens</i>	国内未见 Not found in China. 国外 Abroad:德国 Germany ^[25] ,阿根廷 Argentina ^[25] ,澳大利亚 Australia ^[25] ,韩国 Korea ^[25] ,津巴布韦 Zimbabwe ^[25,78] ,加拿大 Canada ^[25,79] ,墨西哥 Mexico ^[25,79] ,美国 America ^[25,79] ,日本 Japan ^[77] . 国内 China:河北 Hebei ^[81] . 国外 Abroad:新西兰 New Zealand ^[80] .
细菌性斑点病 Bacterial halo blight	丁香假单胞菌晕斑致病变种 <i>P. syringae</i> pv. <i>coronafa- ciens</i> 燕麦假单胞菌 <i>Pseudomonas avenae</i>	国内未见 Not found in China. 国外 Abroad:加拿大 Canada ^[25,78] ,美国 America ^[25,78] ,欧洲多国 Europe ^[25,79] ,新西兰 New Zealand ^[80] . 国内未见 Not found in China. 国外 Abroad:美国 America ^[79] ,土耳其 Turkey ^[79] ,葡萄牙 Portugal ^[79] .
黑颖条斑病 Black chaff and bacte- rial streak	野油菜黄单胞菌小麦致病变种 <i>Xanthomonas campestris</i> pv. <i>translucens</i>	国内未见 Not found in China. 国外 Abroad:美国 America ^[25,82] .
黑节病 Basal glume rot	丁香假单胞菌溃疡致病变种 <i>P. syringae</i> pv. <i>atrofaciens</i>	国内未见 Not found in China. 国外 Abroad:多地分布广泛 Widely distributed ^[79] .

表 3 燕麦病毒病种类与分布
Table 3 Oat viral disease and its distribution

病害 Disease	病原菌 Viral pathogen	分布 Distribution
坏死斑驳病 Oat necrotic mottle	燕麦坏死斑驳病毒 Oat necrotic mottle virus (ONMV)	国内、外分布不详 The distribution is unknown ^[25] .
矮缩病 Oat blue dwarf	燕麦矮缩病毒 Oat blue dwarf virus (OBDV)	国内未见 Not found in China. 国外 Abroad:美国 America ^[83] , 加拿大 Canada ^[84] .
花叶病 Oat mosaic	燕麦花叶病毒 Oat mosaic virus (OMV)	国内未见 Not found in China. 国外 Abroad:美国 America ^[70] , 日本 Japan ^[85] .
	燕麦红条花叶病毒 Oat red stripe mosaic virus (ORMSV)	国内 China:新疆 Xinjiang ^[86] . 国外未见 Not found abroad.
红叶病 Oat red leaf	大麦黄矮病毒 Barley yellow dwarf virus (BYDV)	国内 China:山西 Shanxi ^[87] , 青藏高原 Qinghai-Tibetan Plateau ^[88] . 国外 Abroad:分布广泛 Widely distributed ^[25] .

1.3 病毒病害

全世界已报道的 4 种燕麦病毒病中,我国报道了 2 种,即发生在新疆地区的由燕麦红条花叶病毒(ORMSV)引起的花叶病,以及发生在山西和青藏高原地区由大麦黄矮病毒(BYDV)引起的红叶病。病毒性矮缩病(OBDV)、坏死斑驳病(ONMV)以及由燕麦花叶病毒(OMV)引起的花叶病在国内未见报道(表 3)。

2 种带真菌

种子是病原微生物的重要载体,病原菌通常侵入种子内部、粘附在种子外部或混杂于种子间,将种子作为其越冬或越夏的场所之一,所以种带病原菌是许多病害的初侵染来源^[89],也是病害在空间(不同产地之间)和时间(生长周期)上传播的主要途径之一。近年来,随着燕麦种植面积的不断扩大,种子的引种、调运及交流将会日趋频繁,种带病原菌随种子的调运引致植物病害的发展和扩散不容小觑。在波兰,镰刀菌属和链格孢(*Alternaria alternata*)为燕麦种带真菌的优势种类,其中早熟禾镰刀菌(*Fusarium poae*)的数量最多^[90]。在加拿大西部和挪威的燕麦种子上,早熟禾镰孢菌也是分离率很高的镰刀菌种类^[91]。在阿根廷,燕麦德氏霉(*Drechslera avenae*)的分离率为 0~52%,并在两批马饲料样本中检测到了低浓度的伏马毒素(*Fumonisin*)^[92],此毒素是由串珠镰刀菌(*F. moniliforme*)产生的水溶性代谢物,对某些家畜产生急性毒性,有潜在的致癌性。巴基斯坦的 8 个皮燕麦品种的 28 个样本种子中分离到了 4 属的 9 种真菌,*D. avenae*、*D. sorokiniana* 和 *Phoma* sp. 为优势种^[93]。在北爱尔兰,研究者从 46 个燕麦种子样本中的 44 个检测到了燕麦核腔菌(*Pyrenophora avenae*)的侵染^[94]。在墨西哥中部,9 个不同地点的 3 个品种的种带致病菌有 *A. alternarina*, *A. cerealis*, *A. uredinis*, *Bipolaris hawaiiensis*, *B. sorokiniana*, *B. spicifera*, *B. victoriae*, *Diplodia* sp., *D. avenacea*, *F. avenaceum*, *F. oxysporum*, *F. poae*, *F. verticilliioides*, *Phoma* sp. 和 *Rhizoctonia solani*。腐生菌有 *A. alternata*, *Aspergillus niger*, *Cladosporium* sp., *Chaetomium* sp., *Coniothyrium* sp., *Epicoccum* sp., *Gonatobotrys* sp., *Graphium* sp., *Nigrospora* sp., *Stemphylium* sp. 和 *Torula* sp., 其中分离率较高的有 *A. alternata* (18. 51%), *Cladosporium* sp. (10. 76%) 和 *Epicoccum* sp. (15. 54%), 同时发现不同品种之间的带菌率有差异^[95]。

我国对燕麦种带病原物的研究极少。仅有荆卓琼等^[15]于 2012 年报道了甘肃省产地不同的 2 个皮燕麦品种和 2 个裸燕麦品种种子带菌情况。研究发现,表皮不消毒的种子带菌率达 100%,出现频率较高的 12 个属真菌依次为:链格孢属(*Alternaria*)、离蠕孢属(*Bipolaris*)、葡萄孢属(*Botrytis*)、厚膜孢菌(*Chlamydomyces*)、芽枝霉属(*Cladosporium*)、附球菌属(*Epicoccum*)、镰刀菌属(*Fusarium*)、漆葡孢属(*Gonatobotrys*)、毛霉菌属(*Mucor*)、青霉菌属(*Penicillium*)、根霉菌属(*Rhizopus*)和单端孢霉属(*Trichothecium*)。其中链格孢属、附球菌属、离蠕孢属、突脐孢(*Exserohilum* spp.) 和早熟禾镰刀菌等是已报道的病原真菌或产毒素真菌。采自不同产地的种子种带真菌种类差异较大。表面消毒可明显降低种子的带菌率,有部分种带真菌可使种子霉变或可侵染根和胚

芽^[96]。

3 发生规律

病害的发生与发展随时间和空间的变化而不同。关于燕麦病害,现有的资料主要分析了个别病害的初侵染来源、越冬和越冬场所、侵入途径以及病菌的最适生长条件等。

细菌性条纹叶枯病病残体上的越冬病原菌为初侵染源^[97]。燕麦秆锈病(*P. graminis*)仅靠夏孢子气传即可完成侵染循环,这与国内小麦条锈病的侵染循环很相似,即燕麦秆锈病菌以休眠菌丝在冬季生长的燕麦基部越冬^[98]。燕麦冠锈病菌(*P. coronata*)以夏孢子在自身麦苗或其他寄主上越冬越冬,温暖潮湿的环境条件有利于发病^[13]。Selamawit^[99]研究发现花期接种燕麦赤霉病菌(*F. graminearum*)时,麦粒侵染率以及宿主体内脱氧雪腐镰刀菌酞毒素的含量最高,同时发芽率最低,说明最佳侵染时期为花期。病菌主要通过花序尖端的托苞、内膜以及颖果进入花腔,从尖端开始侵入,花序尖端开始显症,侵染初期,其他部位的菌丝量要多于花序,病害在花序的扩展较缓慢,花序间发生再侵染。燕麦散黑穗(*U. avenae*)以菌丝在种皮内越冬,种子是主要初侵染源,无再侵染^[13],病原冬孢子在亲水界面(水琼脂培养基表面、湿润的滤纸)上较疏水界面(燕麦叶片正面、灭菌载玻片)的萌发率要高,萌发的最适温度为 20~25℃,过高或过低的温度条件抑制萌发,萌发最适的碳源和氮源分别为葡萄糖和蛋白胨,D-果糖、甘露醇、麦芽糖和甘氨酸对萌发有一定的抑制作用,有机氮素比无机氮素更有利于冬孢子的萌发^[100]。土壤和种子中的厚垣孢子是燕麦坚黑穗病主要的初侵染源^[101],出苗 10 d 以上,气温 15℃和 5 cm 土层温度低于 18℃时有利于坚黑穗病的发生^[102]。适当延迟播期是预防坚黑穗病发生的有效途径^[102]。燕麦德氏霉叶斑病(*D. avenae*)在我国云贵地区以菌丝、孢子囊或分生孢子的形式在病残体或种子上越冬,翌年春天病菌产生分生孢子从宿主的幼嫩组织侵入,发病后又产生分生孢子进行多次再侵染^[103],其病原在 5~30℃范围内均可以生长,最适的生长温度为 25℃,在 pH 5~11 范围内均可以生长,偏好中性偏碱,可利用多种单糖、双糖和多糖,最适碳源为可溶性淀粉。可利用硝酸钠、蛋白胨、硫酸铵和硝酸铵等多种氮源,不能利用碳酸胺,不同菌株对氮源的利用存在差异,3 个菌株中有 1 个菌株 B8 不能利用尿素^[48]。分离自西藏秋播燕麦的褐斑病病原(*B. sorokiniana*)的最适生长温度为 30℃,最适产孢为 20℃,培养温度 20℃时孢子最大,15℃时孢子隔膜最多。分生孢子在 10%的燕麦叶汁中,15~35℃ 5 h 的萌发率高于 90%。20~30℃ 5 h 的萌发率高于 95%。同时病原对燕麦、小麦、青稞、高粱、玉米以及豌豆具有较强的致病性^[43]。

研究发现燕麦从出苗到抽穗都有可能受蚜虫的侵染而发生红叶病(BYDV),一般苗期侵染的植株在孕穗阶段开始表现症状,在抽穗阶段表现最重,燕麦幼苗期比拔节后期更容易感染红叶病^[87],随着燕麦红叶病(BYDV)病级等级的增加,燕麦的穗粒数、千粒重、籽粒产量以及植株的干物重减少。由于早期播种的燕麦从出苗到抽穗经历了两次蚜虫高峰的侵染,而且受侵染的时间长,而晚播的燕麦只经历一次蚜虫高峰的侵染,或者两次高峰都能避开。所以,播期越早,红叶病发生程度越重^[87]。接种大麦黄矮病毒-GAV(BYDV)5 d 后,接种叶片呈现阳性,接种 7 d 后,新生的第 4 片叶片被侵染,接种 9 d 后,部分的第 3 片叶呈现阳性,接种 16 d 几乎所有的叶片均呈现阳性。但该病毒在燕麦根部从接种到系统发病都没有进行大量增殖^[104]。

4 品种抗病性

品种抗病性与苗期的环境条件是影响病害流行的主要因子^[102]。国内外关于燕麦病害的品种抗性研究报道相对较多,主要集中在坚黑穗病、冠锈病和秆锈病等。

4.1 燕麦坚黑穗病

坚黑穗病(*Ustilago* spp.)是燕麦的主要病害,其病原的结构较复杂、由多个生理小种组成,不同抗性品种的种植导致新小种频繁出现^[101],有性时期基因重组使病菌的致病力增强,变异速率加快。

李怡琳等^[105]于 1982—1984 年进行了燕麦坚黑穗病菌接种方法试验并选用采自中国、加拿大、法国、美国 and 澳大利亚等地的 1118 份品种测定了田间抗病性。不同的接种方法中干孢子粉拌种预侵染法、菌液振荡接种法以及干孢子粉拌种正常播种(5 cm)法是效果较好的接种坚黑穗病菌的方法,483 份裸燕麦品种中,有抗病品种 21

份,感病品种 409 份,其中我国内蒙古的 1163 为免疫品种。635 份皮燕麦品种中有 435 份抗病品种,152 份中间类型,48 份感病品种。皮燕麦的抗病品种占 68.5%,而裸燕麦的抗病品种只占 4.3%,皮燕麦的抗病性高于裸燕麦^[105]。杨才^[106]的研究发现,带稃的品种比裸粒的更抗坚黑穗病,并筛选出了适宜在河北地区种植的经济性状良好、产量高、免疫和抗病的裸燕麦品种,如:燕麦 2 号、73-7、永 75、永 81 和永 492 等国内品种。从国外引进的裸燕麦品种中筛选出了 1 份免疫和 11 份抗病品种。郭满库等^[107]于 2012 年报道了 35 个裸燕麦和 95 个皮燕麦品种对坚黑穗病的抗病性,同样发现不同燕麦品种对坚黑穗病的抗性与燕麦籽粒的类型有关,35 个裸燕麦品种中有 14 个免疫品种,高抗、抗病和中抗品种分别有 5、7 和 6 个,感病品种 2 个以及 1 个高感品种。而 95 个皮燕麦品种中有 81 个免疫品种,高抗、抗病和中抗品种分别有 10、3 和 1 个,无感病和高感品种,带稃的品种比裸粒的更抗坚黑穗病。分析原因可能是裸燕麦种子无稃壳保护,种胚易被病原菌侵染,而皮燕麦种子有稃壳保护,病原菌需要通过种皮后才能侵染种胚。稃壳有阻隔病原菌侵入的作用,所以皮燕麦较裸燕麦更抗病^[107]。郭建国等^[102]研究发现不同的接种方法,如菌粉混种分期播种和菌土覆盖,导致同一品种表现出不同的抗病性,17 个裸燕麦和 28 个皮燕麦菌粉拌种的抗病性低于菌土覆盖处理。

4.2 燕麦锈病

燕麦秆锈菌和冠锈病菌的结构都相当复杂,均由多个生理小种组成。而锈菌新致病性小种的出现和发展,均会导致抗病品种抗性的丧失,给燕麦的安全生产构成威胁^[108]。目前国内外对燕麦抗锈病的研究多采用分子生物学的方法,如构建分子连锁图谱,采用分子标记的方法对抗病基因进行 QTL(quantitative trait locus)定位,辅助抗病育种的深入研究。

4.2.1 燕麦冠锈病 全球种植燕麦的国家均有冠锈病(*P. coronata*)发生^[108]。我国对燕麦冠锈病抗病性的研究仅有商鸿生等^[109]采用组织病理学的方法研究了燕麦冠锈病的非寄主抗病性与寄主的不同品种抗病性,结果表明,非寄主抗病性除不同程度地中断病原入侵外,主要是抑制入侵病菌菌丝的生长和吸器母细胞的形成,引起病菌的早期败育和宿主植物叶肉细胞的坏死,与品种抗病性的过敏性坏死反应相同,而且此类的非寄主抗病性具有生理小种专化性。

国外对燕麦冠锈病的研究主要集中在宿主的抗病性评价以及冠锈病抗性基因的挖掘、水平抗性基因相关的分子标记。到目前为止,已挖掘了超过 100 种的燕麦抗冠锈病的基因(Pc)。起初只从 *A. sativa* 体内挖掘抗冠锈病基因,现在已开始从其他燕麦属植物中挑选 Pc 基因,如对其他品种表现出较高杂交亲和性的六倍体卷叶燕麦(*A. sterilis*)是最早被发现的抗病基因供体^[33]。Tan 等^[110]对采自摩洛哥的包括 11 个种的 332 份燕麦资源(包括 *Avena agadiriana*, *A. atlantica*, *A. barbata*, *A. damascena*, *A. eriantha*, *A. hirtula*, *A. longiglumis*, *A. magna*, *A. murphyi*, *A. sterilis* 和 *A. wiestii*)进行了抗冠锈病(*Puccinia coronata* f. sp. *avenae*)的评价。结果表明,苗期有 164 份(49%)表现出中抗、抗病,成株期有 181 份(55%)表现出中抗和高抗。尽管苗期没有高抗的品种,但成株期有 20 个高抗品种,151 份(45%)供试材料在苗期和成株期均表现出抗性。

研究发现,抗性基因短效性的原因主要是冠锈病菌的转主寄主药鼠李(*Rhamnus cathartica*)分布广泛,其作为病原菌有性时期锈子器的寄主,是燕麦冠锈病初侵染源,锈子器通过遗传重组,可产生新毒力的生理小种^[111-112]。1960 年至今,从 *Avena sterilis* 体内共克隆到至少 45 个抗病基因,随后培育成功了含有 Pc39、PcX、Pg9、Pc38/Pc39 等基因的抗病品种,1987 年又发现了对 Pc38/Pc39 基因组合有毒性的生理小种,且毒性生理小种产生的速率很快,1992 年 87%以上的分离物对其表现出毒性。随后育种专家又挖掘基因 Pc68,于 2000 年左右培育成功了三基因组合(Pc68/Pc38/Pc39)的抗病品种,短短 3 年时间这些抗病品种已变为感病品种。随后挖掘的 Pc48、Pc68、Pc94 等基因又迅速被生理小种产生毒性。

抗冠锈病的 QTL 定位,指的是控制数量性状的基因在基因组中的位置。进行 QTL 的主要目的是利用不同抗性水平的材料结合不同的抗病指标评价体系,探索与燕麦冠锈病水平抗性基因密切相关的分子标记,以便运用标记辅助育种的方法将抗病基因转到其他品种中去,为抗病育种提供理论依据^[113-114]。为了确定与燕麦冠锈病水平抗性基因相关的分子标记,国外已进行了较多的研究^[113-114],研究者采用病斑面积占叶片总面积的百分率 PPA(percentage of pustule area versus total leaf area)和病害发展曲线下的面积 AUDPC(area under the dis-

ease-progress curve)作为抗病指标,大田试验的样本中分别检测到燕麦冠锈病水平抗性的 QTL 共 3 个,这 3 个 QTL 分别定位于连锁群 C、N 和 P 上,共解释了 27% 的表观型变量。温室试验的样本中,只检测到其中的两个 QTL,当分别用 PPA 和 AUDPC 作为抗病指标时,这两个 QTL 分别解释 26% 和 32% 的表观型变量^[115]。Jackson 等^[113-114]建立了具水平抗性的 Ogle 和 TAM O-301 重组自交系,以夏孢子堆大小和病原菌在宿主体内的相对 DNA 含量作为抗性指标,测定了重组自交系及其亲本在大田和温室条件下分别对 NQMG 和 LGCG 两个菌系的抗性,将一个来自亲本 TAM O-301 的 QTL 定位在了连锁群 OT-11 上,此连锁群使病斑颜色变浅。同时检测到了来自 TAM O-301 位于连锁群 OT-11 和 OT-32 的两个主要的 QTL。此外,减小夏孢子堆大小和病菌在宿主体内的相对 DNA 含量的 QTL 分别被定位在连锁群 OT-15、OT-8(TAM O-301)和连锁群 OT-27(Ogle)。研究发现高温可诱导燕麦对冠锈菌的抗性^[116],冠锈病菌接种燕麦幼苗 2~4 d 后,通过 8 h、35 °C 的高温处理,燕麦对冠锈病菌产生了抗性,使感病品种变为抗病品种,这种抗病性的增加不是通过高温抑制病菌孢子的生长,而是因为寄主的新陈代谢发生变化,与宿主的脂氧化酶同功酶的活性有关^[116]。

4.2.2 燕麦秆锈病 燕麦秆锈病(*P. graminis*)也是影响燕麦品质和产量的重大病害之一,分别于 20 世纪初^[117]和 20 世纪 40 年代^[118]在北美地区和加拿大西部地区大爆发。1977 年在加拿大的 Manitoba 地区和 2002 年在 Saskatchewan 东部地区的大爆发,分别造成 35% 和 5%~10% 的减产^[117]。中国于 2008—2009 年在吉林白城和 2012—2013 年在河北张家口大爆发,造成 10%~15% 减产^[119]。

燕麦秆锈菌的专化性极强,防治燕麦秆锈病的最经济有效的方法就是培育抗病品种,而明确病菌种群的生理小种多样性及毒力基因的研究是筛选抗原和培育抗病新品种最基础的工作。Stakman 等^[120]于 1918 年首次提出了加拿大地区的燕麦秆锈菌的生理小种分化现象,随后世界多国开始了燕麦秆锈菌生理小种研究工作。然后于 1923 年首次用 Victory、White Tartar 和 Monarch 单基因品种描述了北美的 4 个 Pga 生理小种,于 1925 年用 White Tartar、Richland 和 Jostrain 描述了第 5 个 Pga 生理小种^[117]。Newton 等^[121]于 1923 年通过单基因鉴别寄主 White Tartar、Richland 和 Joanette 首次描述了燕麦秆锈菌的生理小种 Pg1-3。然后依次于 1952、1959 和 1965 年分别发现了 Pg4、Pg8 和 Pg9。随后于 1979 年描述了 Pg13、Pg15、Pg16 和 Pga^[122]。有些生理小种作为优势小种可长达 25 年,甚至 40 年^[123]。早期,NA3 和 NA7 是出现频率最高的生理小种,单基因鉴别寄主 Pg9 和 Pg13 是普遍的抗病基因,1960 年以后由于小种 6AF、C10 和 NA27 的出现,抗性有下降的趋势。研究还发现了对 Pga 基因有毒性的小种。对所有 Pg 抗性基因有毒性的生理小种也出现在北美的 *Puccinia graminis* f. sp. *avenae* 种群中。已经鉴定的燕麦抗秆锈基因有 17 个单基因以及 Pg-a 基因簇,加拿大不同地区的燕麦品种中仅发现了其中的 5 个基因(Pg1、Pg2、Pg4、Pg9、Pg13),大多抗秆锈病的燕麦品种中含有 Pg2+Pg13 双基因^[124]。但研究发现当地的 2 个优势生理小种(NA67、NA76)已对这对抗病基因组合产生了毒性^[125],研究者们正致力于通过其他抗秆锈病基因(Pg6、Pg10、Pg11、Pg12 和 Pg16 等)的转基因育种,来抵抗优势小种的危害。通过检测将近一万份燕麦品种对小种 NA67 的抗性发现,二倍体燕麦(*A. strigosa*)是优良的抗性基因库,同时还有一些二倍体和一个四倍体品种也表现出高抗水平^[124]。最早于 1925 年用 White Tartar、Richland 和 Jostrain 品种描述了 5 号小种^[122]。在南非,通过毒性抗性基因 Pc40、Pc45、Pc46、Pc51 和 Pc54 鉴定出了主要的致病型 SBLL,其他致病型如 SGLL、PBBB+Pc35、SDQL 和 JBBM+Pc35,发生的频率较低^[126]。研究发现温度的变化对燕麦抗秆锈病基因的表达有很大的影响,如在已命名的 17 个抗秆锈病基因中,Pg1 和 Pg2 随温度升高抗病性有所下降,Pg10 的抗病性对温度的响应较为稳定,除 Pg11 因为仅在成株期表达而未测定,其他 13 个基因均表现出典型的低温抗病性^[127]。袁军海等^[128]的研究也发现燕麦大多数抗秆锈病的基因成株期表现为低温抗病性。

关于燕麦秆锈菌生理小种及毒力基因的研究目前国内仅有 2 篇报道^[119,123],李天亚等^[119]选用 12 个北美燕麦秆锈菌单基因鉴别寄主对 11 份燕麦秆锈病菌标样进行了小种与毒力鉴定,并选用 Pga-code 字母命名系统对各小种进行了命名,以 16 个单基因系测定了毒力频率。11 份中共分离得到了 26 个单孢子堆菌株,鉴定出了 TKR、TJM 和 TKM 三个生理小种,其中 TKR 为优势小种、TKM 为次优势小种,并筛选出了 2 个有效抗病基因和 9 个无效抗病基因,并且明确了对我国燕麦秆锈菌具有一定区分作用的 4 个抗病基因,发现我国的燕麦秆锈菌生理小种或毒力与北美的有明显差异。袁军海等^[128]于 2014 年报道了冀西北地区主栽的 40 个燕麦品种对秆锈

病的抗病性鉴定,发现有 5 个皮燕麦品种(冀张燕 1 号、2 号和 5 号、坝燕 1 号和定燕 1 号)和 7 个裸燕麦品种(白燕 2 号、11 号、冀张莜 6 号、12 号、燕科 1 号、花晚 6 号和晋燕 14 号)至少在 2 个试验点中的其中一个点表现出免疫、抗病或慢病。

4.3 燕麦白粉病

燕麦白粉病(*B. graminis*)也是发生较普遍的疾病。对燕麦抗白粉病的生理机制的研究发现抗病品种 80% 被侵染的细胞局部地自发荧光,而感病品种低于 20%。抗病性与叶部总谷胱甘肽含量的增加相关,随着抗病性增加,氧化型谷胱甘肽比例增加,叶部抗坏血酸过氧化物酶、谷胱甘肽还原酶、脱氢抗坏血酸还原酶,单脱氢抗坏血酸还原酶的活性均降低^[129]。Sai 等^[130]根据其致病性强弱将 12 株来自德国和丹麦的燕麦白粉病菌分为 5 个组。品种抗病性试验发现 259 个品种中有 173 个感病品种,38 个品种对分组的病菌有病菌专化抗病性。2009—2011 年,采用田间自然感病的方法,对 128 份燕麦品种进行了田间抗白粉病的鉴定与评价,结果发现供试的所有燕麦品种均不同程度地感染了白粉病,其中仅有“4607”和“MF9715”两品种表现出高抗,有“QO245-7”、“白燕 2 号”、“VAO-1”等 8 份材料表现出中抗,其余 118 份材料表现出中感、高感和极度感病^[131]。说明我国目前抗白粉病的种植资源相对匮乏,可利用的抗性品种较少。

4.4 燕麦红叶病

燕麦红叶病是由大麦黄矮病毒 BYDV(barley yellow dwarf virus)引起的病毒病,是燕麦产区最常见的病毒病,严重影响燕麦的产量和品质。BYDV 是由多种蚜虫传播的混合株系,不同种类蚜虫传播的病毒株系不同,不同株系的病毒致病力也有一定的差异。不同燕麦品种能否抗 BYDV 病毒不仅取决于燕麦本身对病毒在其体内的扩增、繁殖的抑制作用,还取决于燕麦的外观形态和体内生化物质对传播病毒的蚜虫的反应,而且还涉及蚜虫的发育、繁殖和获毒、传毒的能力。目前,关于燕麦黄矮病病原的研究在血清学、分子标记以及蚜虫传毒机理等研究领域都有所突破。

Zhu 等^[132]通过分子标记的方法检测了燕麦抗黄矮病的抗性基因区域及性状连锁图谱,连续两年接种 BYDV 的粗提取物共得到 272 个分子标记,对它们进行了 QTL 图谱分析,发现了抗 BYDV 的 4 个 QTL 位点 BTdq1-4,分别位于连锁群 OM1、OM5、OM7 和 OM24 上。各 QTL 位点间有上位效应,以此可解释 BYDV 抗性基因间 50% 以上的表观型变量。同时还发现一些抗 BYDV 的 QTL 位点与控制植株高度及抽穗期等性状的 QTL 位点有连锁关系。从蚜害比值和平均严重度初步确定了不同燕麦材料对蚜虫和 BYDV 病毒的感抗级别,发现燕麦的抗蚜性与抗病性间有一定的相关性^[133]。同时还发现人工接种易增加燕麦红叶病的严重度和感病类型,易使抗病或感病品种成为高感材料。QO245-7 和白燕 2 号低感蚜虫,对 BYDV 也表现抗病,白燕 10 号低抗蚜虫,对 BYDV 也表现抗病,以上 3 个品种是较好的抗蚜和抗 BYDV 病毒病的材料^[133]。但白燕 10 号的抗病性与朱永峰^[4]报道的抗病性存在分歧,选用了不同抗蚜表现的 5 个燕麦品种进行苗期抗蚜物质的研究,发现燕麦的抗蚜性与体内的可溶性糖、可溶性蛋白、酚类物质含量有关^[4]。经研究和论证,认为控制燕麦黄矮病最有效的途径是利用 BYDV 抗原,挖掘和创造抗 BYDV 的种质,大面积推广和应用抗病品种^[134]。研究发现,燕麦 DNA 上可能携带有抗小麦条锈病菌的新基因,将对小麦条锈病菌免疫的燕麦 DNA(利用花粉管通道)导入条锈病感病的小麦株系后,受体后代中有 6 个株系对小麦条锈病菌各生理小种表现高抗。同工酶酶谱分析,证明所选抗条锈病变异品系确为燕麦 DNA 导入小麦后的基因转化系^[135]。

4.5 其他病害

关于其他燕麦病害抗病性的研究,目前国内仅有以下报道:刘刚等^[88]研究了 26 个燕麦品种的抗病性和抗蚜性,用逐步回归法筛选出对燕麦品种生物抗性影响显著的指标,并以此为据建立了天祝高寒地区燕麦生物抗性综合评价的指标体系,以燕麦生物抗性综合评价值作为因变量,各单项指标作为自变量建立了最优回归方程;冀西北地区的 51 个燕麦主栽品种中对叶斑病(*D. avenacea*)表现出中度抗病的有 4 个品种,其余 47 个品种均表现为高度感病或中度感病,未发现免疫或高度抗病材料^[136]。

5 燕麦病害的综合防治

南志标等^[7]提出的建立我国牧草病害可持续管理防治体系,提倡以生物技术、信息技术和社会学与经济学知识为技术支撑,通过利用抗病品种和对草地的可持续管理,并辅以杀菌剂拌种和生物防治等措施,将病害控制在经济阈值水平之下,采取不同牧草混播、播前杀菌剂处理种子、合理施肥、科学利用草地和早春焚烧牧草残茬等管理措施,达到提高草地农业生态系统整体生产力和稳定性的目的。与农作物病害和苜蓿等牧草病害相比,国内外对燕麦病害防治技术的研究报道并不多,现有的研究报道主要集中在品种抗病性评价(已在文中前半部分进行了综述)和化学防治等措施,而生物防治方面的研究报道近乎空白。

5.1 植物检疫

种带病原物的检疫是病害防治的第一道关卡。在我国尚未报道过的一些燕麦病害,尽管尚未列入进境植物检疫对象,但在种子调运等过程中应加强检疫,杜绝新的病害在我国扩散蔓延。如:真菌类的麦角病(*C. purpurea*),腐霉根腐病(*Pythium* spp.),离蠕孢叶斑病(*B. victoriae*),眼斑病(*R. cerealis*),雪霉灰斑病(*T. incarnata* = *T. itoana*)以及壳针孢叶斑病(*S. avenae*);细菌类的斑点病(*Pseudomonas syringae* pv. *coronafaciens*)、条纹叶枯病(*P. syringae* pv. *striaefaciens*),黑节病(*P. syringae* pv. *atrofaciens*)以及黑颖条斑病(*X. campetris* pv. *translucens*);病毒性矮缩病(OBDV)、坏死斑驳病(ONMV)以及由燕麦花叶病毒(OMV)引起的花叶病。

5.2 农业与生态治理

农业防治中合理栽培措施的主要目的是通过加强栽培措施管理,创造有利于农作物生长而不利病原物繁殖的生境。主要包括调整播期、适宜的种植密度,合理的施肥灌水和和其他^[54]。农业防治在牧草病害可持续管理中居于基础地位,主要包括不同牧草混播、焚烧残茬和合理利用草地等^[7]。孙雪梅^[48]通过 3 年的正交试验研究了田间管理措施对燕麦叶斑病(*D. avenacea*)发生的影响,结果表明播期是影响叶斑病发生的主要因素,适当推迟播期有利于降低叶斑病的发生,其他几个因素如不同的燕麦品种、种植密度、施肥量和灌水量对燕麦叶斑病的发生影响不显著。3 种耕作模式中,免耕覆盖的发病程度最轻,其次为免耕不覆盖,而常规耕作叶斑病发病程度最重^[48]。

5.3 化学治理

杀菌剂防治植物病害具有速效、高效、使用方便、经济效益高等优点,同时尽管杀菌剂有高残留造成环境污染、引起家畜中毒、杀伤有益微生物、使用不当可对植物产生药害、易导致病原物产生抗药性等缺点,但是在面临病害大面积流行的紧急时刻,杀菌剂甚至是唯一有效的防治措施。因此,筛选高效低毒的杀菌剂是植物病害研究中不可或缺的部分。与农田和其他农作物相比,牧草的价值低而草地面积大,由此决定了大面积使用杀菌剂不甚经济且易造成生态环境污染,通过食物链影响畜产品质量,最终影响人类健康,因此,化学防治在牧草病害管理体系中处于次要与辅助的地位^[137]。

播种前种子处理是杀菌剂在牧草病害管理中最主要的化学防治方式^[137]。用(120 mL 吡虫啉+42 mL 戊唑醇)/100 kg 种子拌种包衣,对裸燕麦(白燕 2 号)和皮燕麦(陇燕 3 号)红叶病(BYDV)的防效分别为 47.87%和 84.97%,增产率分别为 48.96%和 60.43%^[138]。16%噻戊(噻虫嗪·戊唑醇)燕麦种衣剂对皮燕麦(魏都燕 1 号)和裸燕麦(坝蓓 8 号)的株高影响不明显,对皮、裸燕麦分蘖期、拔节期和开花期蚜虫的防治效果显著,防效都达到 80%以上,对皮、裸燕麦红叶病(BYDV)的防治效果较好,达 31%以上,对皮、裸燕麦的增产率分别为 11.2%和 8.3%^[139]。吡虫啉和噻虫嗪两种种衣剂在燕麦扬花期对麦蚜的防效大于 50%,成熟期对红叶病的防效也在 43%以上,增效显著,且吡虫啉种衣剂防治效果优于噻虫嗪^[140]。噻虫嗪种衣剂处理后,单株蚜量和红叶病(BYDV)病情指数均低于对照,持效期长达 90 d。残留分析表明,播种 110 d 以后残留量 ≤ 0.06 mg/kg,可刈割青饲料或作为干草贮存使用。在燕麦籽粒中未检测到噻虫嗪^[141]。叶斑病病原燕麦内脐蠕孢菌(*D. avenacea*)室内药剂毒力测定结果表明,50%速克灵和 58%甲霜锰锌的 EC_{50} 较低,抑制效果好,而 70%甲基硫菌灵和 70%代森锰锌的抑制效果较差。但室内药剂毒力作用大小与田间的防治效果有一定的偏差,分蘖前期和扬花期喷施药剂的防治效果不及播前药剂拌种并喷施药剂,且播前药剂拌种并喷施药剂对生物量和籽粒产量的增产作用更明显。最后从

防效、田间增产、防治费用等多因素考虑,筛选出 50%的多菌灵为防治燕麦叶斑病的较理想药^[48]。张玉霞等^[142]采用水琼脂平板萌发法和培养皿滤纸发芽法,测定了 5 种杀菌剂对燕麦散黑穗(*U. avenae*)冬孢子萌发的抑制作用以及药剂拌种对种子发芽、干物质重、根系发育的影响。结果发现,33.5%啶菌铜 SC、25%嘧菌酯 SC 和 45%咪鲜胺 EW 的萌发抑制率为 100%,33.5%啶菌铜 SC 拌种对种子萌发、干物质积累和根系性状有一定的促进作用,25%嘧菌酯 SC 对燕麦幼苗无明显的毒害作用,45%咪鲜胺 EW 拌种的燕麦种子发芽、干物质积累、根系性状均低于对照,对幼苗有一定的毒害作用,生产中不可使用。40%氟硅唑 EC 和 25%苯醚甲环唑 EC 亦对冬孢子萌发有较好的抑制作用,且对幼苗性状无影响,可在生产中使用。

6 问题与展望

近年来我国在植物病害方面的研究水平有了迅速提升,围绕我国生产中的主要病害如小麦条锈病(*Puccinia striiformis* f. sp. *tritici*)、水稻稻瘟病(*Magnaporthe oryzae*;无性态:*Pyricularia oryzae*)等进行了系统的研究,为相关产业的发展提供了强有力的保障。而燕麦作为优良的粮食作物和饲料作物,其病害的研究无论从宏观的病害流行病学,还是微观的分子生物学方面的研究都比较薄弱,在生产实践中有大量的问题有待于研究解决。

我国燕麦病害的研究主要存在以下问题:1)缺乏全国性的病害种类调查,包括种带真菌和细菌的分离及其致病力的研究。2)很多病害仅有文献记载,而未见具体的研究报道,各生态区域最主要的病害种类尚不明确。3)对很多重要病害的防治尚未开展系统的研究工作,目前仅有少量的关于红叶病、叶斑病和散黑穗病化学防治的研究报道,而相应的生态防治、利用抗病品种、生物防治等防治方法的研究工作近乎空白。4)明确病原物的基础生物学特征,对制定防治策略、设计新型杀菌剂及合理利用寄主抗病性具有重要的理论和实际意义。而燕麦多种病害的病原菌基础生物学特征缺乏系统研究。5)禾本科锈菌为严格的专性寄生菌,致病性的频繁变异常造成寄主抗锈病的“丧失”,引发病害的大流行。燕麦锈菌种群的生理小种多样性及毒力基因的研究在我国还没有引起足够的重视,我国在这方面的研究明显滞后,目前有关中国地区此病害的论文仅有两篇^[119,123]。6)一些重大病害的发生规律尚不清楚。尽管对有些病害开展了较为系统的研究工作,但就其病害发生的基本特性如病菌的侵染循环、越冬越夏场所、侵染过程及与环境条件的关系仍然不清楚。因而,对这些病害难以制定出合理有效的防治策略。7)抗病育种是治理草类植物病害最经济有效的措施,在病害综合治理体系中居核心地位,而我国关于燕麦抗病育种的研究处于起步阶段,所挖掘的针对一些主要病害的抗病基因少,难以为抗病育种工作提供基础资料,抗病基因的挖掘和利用尚不能满足生产需求。8)种子携带并传播病原物是很多地区发生新病害的原因,种带病原物的检疫是病害防治的第一道关卡,我国尚缺乏对燕麦的重要种传病害的统一检测手段,缺乏种子健康生产规程。燕麦种子处理方法不一,技术水平参差不齐,缺乏种子处理技术。

燕麦是西北农牧交错区和牧区主要的饲料作物,在畜牧业发展中具有举足轻重的地位^[143],而且因为其招牌营养元素的含量高,质量优,是受现代人所欢迎的食粮之一。近年来,随着民众健康意识的不断提高,加之我国农业结构的调整以及退耕还林还草、退牧还草等重大决策与工程的实施,燕麦的种植面积将会不断增大,同时燕麦病害的发生和危害可能也会更加普遍和严重。我国幅员辽阔,生态区域多种多样,且不同生态区域的管理参差不齐,使得燕麦病害在时间和空间上呈现差异性和病害种类呈现多样化。对燕麦病害的研究将需要从广度和深度两个方面同时深入,从广度上迫切需要的研究工作包括:1)继续广泛深入地开展全国范围内的病害普查,查清病害,摸清每种病害的危害程度,筛选出重要病害作为重点研究对象。2)分离和鉴定不同生态区域燕麦种带和土壤微生物区系,探明它们的有益性或致病性。3)开展大规模的种质资源抗病性评价,不仅是短期内解决病害大发生的应急之举,同时为进一步的抗病育种工作提供基础资料。从深度上有必要开展以下几个方面的工作:1)积极对发病规律和防治措施进行系统研究,力争通过各种措施的综合应用将病害的危害水平保持在经济阈值水平之下。针对不同生态区域的病害发生特点,提出切实可行的综合治理策略。2)依赖分子生物学等先进技术对病原加以准确鉴定,对黑粉病和锈病积极开展生理小种及毒力基因、转主寄主、病菌变异机理、关键致病基因等方面的系统研究,为利用先进技术改造病菌或寄主的关键基因创造新型抗病品种奠定基础。3)明确燕麦的抗病机制,挖掘主要病害的抗病基因。4)对有可能通过食物链对人体或家畜造成毒害的病害如麦角病、赤霉病、离蠕孢叶斑

病等需投入更多的科研力量。5)深入了解燕麦种子如何受到病菌的感染,病菌的种子传带和存活机制,加快燕麦种子健康生产、健康检测和种子处理技术的研究和相关法规的制定。6)种子处理方面,亟需开发能够有效去除燕麦种子内部寄藏病菌,同时提高种子活力,且易于操作和推广的方法。建立完善的种子采后保健处理规程。7)探索能快速、精确、同时能确认病菌活力的高通量种子检测方法。8)建立我国燕麦病原物的共享资源库。

燕麦产业今后将朝着不断提高品质的方向迈进,在深入研究燕麦营养价值和保健功能的同时需促进先进的无公害栽培技术的发展,加快燕麦的规模化和商业化进程。在燕麦病害的绿色防控方面,应加大以下几方面的扶持力度,为燕麦产业的发展提供帮助:1)绿色防控确保食物安全。绿色防控是将农田看作一个生态系统来整体考虑,以保障农作物的生产、降低农药使用量为目的,人为协调各种生态因素,控制田间有害生物发生的行为。属于公共植保的范畴,以绿色植保为体现,以食物安全为依托,具有社会公益性^[144]。燕麦作为一种优良的粮饲兼用作物,大面积使用杀菌剂进行病害防治不甚经济且易于造成生态环境的污染,残留进入食物链最终影响畜产品以及人类的健康。因此对于其病害的防控,亟须建立燕麦病害绿色防控技术体系,优先考虑采用物理、生物和生态防治技术,根据不同生育时期、不同地域的病害发生特点,挖掘关键技术,建立全程绿色化防控技术模式。依据燕麦产业发展的需求,发掘、研究和利用抗病品种与自然天敌等资源,制定适合于各种植区域燕麦病害绿色综合治理技术体系。2)生态防控技术。如建立越冬越夏菌源区治理、深翻除杂草消灭自生幼苗、适期晚播、播前拌种等。混播是控制病害发生与流行的行之有效的措施之一^[145]。混播通过把不同作物、品种组合在一起,人为创造农艺性状和遗传背景不同的群体,提高种群的抗病性和耐干扰能力。推迟了病害流行的时间,使植物在最易感病的时期躲过了病原物的侵染。区别于病原物对单播组分的完全亲和,混播中组分并非完全亲和,因此对病原物起到了一定的稀释作用,降低了流行和爆发的潜在危险。前人的研究发现,豆科和禾本科植物混播可起到减轻病害的作用^[145]。燕麦生产中,可选用不同牧草进行混播,通过改善田间小气候,降低湿度,提高温、光、水肥的利用率、提高土壤肥力及控制杂草的同时,降低发病率和侵染率。3)利用共生菌提高燕麦抗病性。在漫长的进化过程中,共生菌与其宿主植物不断协同进化,逐渐形成了稳定的互利共生关系。利用宿主植物与共生菌之间良好的共生关系,可将共生菌作为生防因子来源来提高宿主植物的抗病性。与生防制剂的施用过程中易受外界环境因素影响等相比,共生菌以其独特的方式随宿主植物的生长而生长,因而能免受外界环境变化对其造成直接影响。因此很有必要研究燕麦内生菌,挖掘具有农药活性的次生代谢物以及植物生长调节剂,研发新型的燕麦专用微生物农药,增加燕麦的抵抗力以及诱导产生系统抗性抑制病原菌的生长。利用内生真菌改善燕麦性状,改良品质,提高产量,培育带有内生真菌的品质优良的燕麦新品种。4)毒素研究。植物病原真菌如麦角菌属(*Claviceps*)、镰刀菌属(*Fusarium*)、青霉属(*Penicillium*)以及曲霉属(*Aspergillus*)等能产生真菌毒素而引起人畜中毒^[146]。燕麦作为一种人畜共食的优良作物,在生产和储藏过程中要尽可能避免产毒真菌对其污染,家畜取食含有真菌毒素的燕麦粮食和饲料,将影响畜产品,比如毒素在家畜奶中的排泄对消费者而言是潜在的威胁。因此,预防和控制真菌毒素对燕麦的污染也是目前燕麦生产中的研究重点。5)病害对燕麦品质的影响。病害对牧草的影响是多方面的,相对于对产量以及草地寿命等直观的影响,病害对牧草营养成分的影响虽不明显,但意义深远。在饲料方面,粗蛋白、粗纤维、灰分等含量是判定牧草品质的关键指标,病原微生物的侵染在一定程度上影响这些指标的含量,进一步影响了牧草的适口性、消化率以及种子产量等,最关键的是染病牧草对家畜的健康造成了影响。如粗蛋白中的蛋氨酸和赖氨酸是家畜营养的第一、二限制性氨基酸,它们的含量过多或过少,均会限制家畜对其他氨基酸的吸收与利用,并影响家畜的健康^[147]。在粮食方面,保健功能性成分如燕麦蛋白、燕麦黄酮、燕麦皂苷、燕麦生物碱等是判定其品质的关键指标^[148],因此,燕麦生产中亟须明确各病害对燕麦品质的影响,为正确指导家畜饲喂以及燕麦的合理使用提供理论依据。燕麦的营养价值主要归功于籽粒中的可溶性膳食纤维 β -葡聚糖^[149],研究表明,环境条件如温度、降水和土质等,以及播种期、矿质元素等都会影响燕麦体内 β -葡聚糖的形成和积累^[150]。燕麦病害是否会影响 β -葡聚糖代谢还未见研究报道,加之 β -1,3-葡聚糖酶在植物抗病性方面发挥着重要作用,因此,明确不同病原物对燕麦体内 β -葡聚糖代谢的影响也是一个比较有意义的研究方向。

参考文献 References:

- [1] Chinese Academy of Sciences, Flora Editorial Board. Flora of China. Beijing: Science Press, 1987: 167.
中国科学院植物志编辑委员会. 中国植物志. 北京: 科学出版社, 1987: 167.
- [2] Zhang H Y, Zhang H, Wang L, *et al.* Research and development of oat. Cereals and Oils, 2009, (8): 7-9.
章海燕, 张晖, 王立, 等. 燕麦研究进展. 粮食与油脂, 2009, (8): 7-9.
- [3] Ma C. Fungal Disease of Oat in Gansu Province. Lanzhou: Gansu Agriculture University, 2011.
马从. 甘肃省燕麦真菌病害研究. 兰州: 甘肃农业大学, 2011.
- [4] Zhu Y F. Quantity Dynamic of Oat Aphid Population and Its Resistance to Oat. Lanzhou: Gansu Agriculture University, 2010.
朱永峰. 燕麦蚜虫的种群数量动态和抗蚜性研究. 兰州: 甘肃农业大学, 2010.
- [5] Zhao X F, Rong Y P, Zhao L X. The collection and evaluation of oat (*Avena sativa*) in China. Pratacultural Science, 2006, 24(3): 36-40.
赵秀芳, 戎郁萍, 赵来喜. 我国燕麦种质资源的收集和评价. 草业科学, 2006, 24(3): 36-40.
- [6] Zheng D S. Diversity of oat in China. Journal of Plant Genetic Resources, 2010, 11(3): 249-252.
郑殿升. 中国燕麦的多样性. 植物遗传资源学报, 2010, 11(3): 249-252.
- [7] Nan Z B, Li C J, Bai Y S. Forage and turfgrass diseases in China and their control//Forage and Turfgrass Pathological Research in China. Beijing: Ocean Press, 2003: 3-10.
南志标, 李春杰, 白原生. 我国草类作物病害及其防治对策//中国草类作物病理学研究. 北京: 海洋出版社, 2003: 3-10.
- [8] Nan Z B. Major Diseases of Pasture Crops and Their Control. Chengdu: Sichuan Science & Technology Publishing House, 1985.
南志标. 牧草常见病害及其防治. 成都: 四川科技出版社, 1985.
- [9] Nan Z B. Root rot of legume forage. Foreign Animal Husbandry-Grassland and Forage Grass, 1991, 2: 5-11.
南志标. 豆科牧草根腐病. 国外畜牧学—草原与牧草, 1991, 2: 5-11.
- [10] Nan Z B. New record of forage fungus diseases in China. Grassland and Forage Grass of China, 1986, 3(2): 61-63.
南志标. 国内牧草真菌病害新记录. 中国草原与牧草, 1986, 3(2): 61-63.
- [11] Nan Z B, Li C J. Fungal diseases of pasture plants recorded in China—a check list. Pratacultural Science, 1994, 11(Suppl): 3-30.
南志标, 李春杰. 中国牧草真菌病害名录. 草业科学, 1994, 11(增刊): 3-30.
- [12] Nie H X, Gao F, Duan T Y, *et al.* Progress in research on the disease of *Onobrychis viciaefolia*. Acta Prataculturæ Sinica, 2014, 23(3): 302-312.
聂红霞, 高峰, 段廷玉, 等. 红豆草病害研究进展. 草业学报, 2014, 23(3): 302-312.
- [13] Zhou Q P. Cultivation and Management of Oats in Alpine Region. Nanjing: Phoenix Science & Technology Publishing House of Jiangsu, 2014.
周青平. 高原燕麦的栽培与管理. 南京: 江苏凤凰科学技术出版社, 2014.
- [14] Wen J Z, Lu J Y. Taxonomy and identification of *Drechslera*, *Bipolaris* and *Exserohilum*. Journal of Northeast Agricultural College, 1991, 22(2): 120-126.
文景芝, 陆家云. 内脐蠕孢属、平脐蠕孢属和凸脐蠕孢属的分类鉴定. 东北农学院学报, 1991, 22(2): 120-126.
- [15] Jing Z Q, He S Q, Zhao G Q, *et al.* Identification of the pathogen of oat anthracnose in Wulanchabu city of Inner Mongolia Autonomous region. Plant Protection, 2015, 41(3): 68-72.
荆卓琼, 何苏琴, 赵桂琴, 等. 内蒙古自治区乌兰察布市燕麦炭疽病病原鉴定. 植物保护, 2015, 41(3): 68-72.
- [16] Crouch J A, Beirn L A. Anthracnose of cereals and grasses. Fungal Diversity, 2009, 39: 19-44.
- [17] Jia J S, Hu S Z. Sylloge of Economic Plant Fungal Disease in Xinjiang. Urumchi: Xinjiang Science and Health Publishing House, 1993.
贾菊生, 胡守智. 新疆经济植物真菌病害志. 乌鲁木齐: 新疆科技卫生出版社, 1993.
- [18] Dai F L. Sylloge Fungorum Sinicorum. Peking: Science Press, 1979.
戴芳澜. 中国真菌总汇. 北京: 科学出版社, 1979.
- [19] Harder D E, Skoropad W P. The occurrence of cereal anthracnose in Alberta. Canadian Plant Disease Survey, 1986, 48(2): 39-42.
- [20] Sprague R. Diseases of Cereals and Grasses in North America. New York: Ronald Press Company, 1950: 538.
- [21] Mendes M A S, Silva V L, Dianese J C, *et al.* Fungus em Plants No Brasil. Brasilia: Embrapa-SPI/Embrapa-Cenargen, 1998: 555.
- [22] Connors I L. An annotated index of plant diseases in Canada and fungi recorded on plants in Alaska, Canada and Greenland.

- Publication Research Branch Canada Department of Agriculture, 1967, 1251: 1-381.
- [23] Cook R P, Dube A J. Host-pathogen Index of Plant Diseases in South Australia. Australia: South Australian Department of Agriculture, 1989: 1-142.
- [24] Erwin D C, Ribeiro O K. Phytophthora Diseases Worldwide. St. Paul: Minnesota APS Press, 1996: 562.
- [25] The American Phytopathological Society. (1993-03-11) [2017-01-22]. <http://www.apsnet.org/publications/common-names/Pages/Oats>.
- [26] French A M. California Plant Disease Host Index. Sacramento: California Department of Food and Agriculture, 1989: 394.
- [27] Anonymous. Index of Plant Diseases in the United States. USA: United States Department of Agriculture, 1960, 165: 1-531.
- [28] Pennycook S R. Plant Diseases Recorded in New Zealand. Auckland: Plant Disease Division, 1989.
- [29] Richardson M J. An Annotated List of Seed-borne Diseases. Fourth Edition. Zurich: International Seed Testing Association, 1990: 387.
- [30] Stovold G E. Root rot caused by *Pythium irregulare* Buisman, an important factor in the decline of established subterranean clover pastures. Australian Journal of Agricultural Research, 1974, 25: 537-548.
- [31] Crous P W, Phillips A J L, Baxter A P. Phytopathogenic Fungi from South Africa. University of Stellenbosch: Department of Plant Pathology Press, 2000: 358.
- [32] Ginns J H. Compendium of Plant Disease and Decay Fungi in Canada 1960-1980. Canada: Canadian Government Publishing Center, 1986: 416.
- [33] Leonard K J, Martinelli J A. Virulence of Oat Crown Rust in Brazil and Uruguay. Plant Disease, 2005, 89: 802-808.
- [34] Valkonen J P T, Peltonen S P, Koponen H. Severe foot and root diseases in naked and dwarf oat caused by *Fusarium* spp. . Plant Disease, 1996, 80: 821.
- [35] Kristensen R, Torp M, Kosiak B, *et al.* Phylogeny and toxigenic potential is correlated in *Fusarium* species as revealed by partial translation elongation factor 1 alpha gene sequences. Mycological Research, 2005, 109: 173-186.
- [36] Ahmad S, Iqbal S H, Khalid A N. Fungi of Pakistan. Sultan Ahmad: Mycological Society of Pakistan, 1997: 248.
- [37] Mulencko W, Majewski T, Ruszkiewicz M M. A Preliminary Checklist of Micromycetes in Poland. Szafer: Institute of Botany, Polish Academy of Sciences, 2008, 752.
- [38] Simmonds J H. Host Index of Plant Diseases in Queensland. Brisbane: Queensland Department of Primary Industries, 1966: 111.
- [39] Schilling A G, Moller E M, Geiger H H. Molecular differentiation and diagnosis of the cereal pathogens *Fusarium culmorum* and *F. graminearum*. Sydowia, 1995, 48: 71-82.
- [40] Scardaci S C, Webster R K. Common root rot of cereals in California. Plant Disease, 1982, 66: 31-34.
- [41] Sivanesan A. Graminicolous species of *Bipolaris*, *Curvularia*, *Drechslera*, *Exserohilum* and their teleomorphs. Mycological Paper, 1987, 158: 1-261.
- [42] Peng J H, Lu J Y. Studies on *Drechslera*, *Bipolaris* and *Exserohilum*. Journal of Nanjing Agriculture University, 1991, 12(4): 46-53.
- 彭金火, 陆家云. 内脐蠕孢属、平脐蠕孢属和凸脐蠕孢属的研究. 南京农业大学学报, 1991, 12(4): 46-53.
- [43] He S Q, Jing Z Q, Ding W J, *et al.* Identification and biological characteristics of pathogen of oat brown leaf spot in Tibetan. Grassland and Turf, 2011, 30(5): 30-33.
- 何苏琴, 荆卓琼, 丁文娇, 等. 西藏秋播燕麦苗期褐斑病病原鉴定及生物学特性研究. 草原与草坪, 2011, 30(5): 30-33.
- [44] Manamgoda D S, Cai L, McKenzie E H C, *et al.* A phylogenetic and taxonomic re-evaluation of the *Bipolaris-Cochliobolus-Curvularia* complex. Fungal Diversity, 2012, 56: 131-144.
- [45] Shivas R G. Fungal and bacterial diseases of plants in Western Australia. Journal of the Royal Society of Western Australia, 1989, 72: 1-62.
- [46] Alfieri S A, Langdon K R, Wehlburg C, *et al.* Index of Plant Diseases in Florida. Florida: Department of Agriculture and Consumer Service, 1984, 11: 1-389.
- [47] Sun B D, Zhang T Y. One new species and two new Chinese records of *Drechslera*. Mycosystema, 2004, 23(1): 20-23.
- 孙炳达, 张天宇. 内脐蠕孢属一新种和两个中国新记录种. 菌物学报, 2004, 23(1): 20-23.
- [48] Sun X M. Occurrence and control of head blight caused by *Drechslera avenae* on oat. Hohhot: Inner Mongolia Agricultural University, 2012.
- 孙雪梅. 燕麦叶斑病的发生与防治. 呼和浩特: 内蒙古农业大学, 2012.
- [49] Jiang G Z. Graminicolous species of *Helminthosporium* from China. Acta Phytopathologica Sinica, 1959, 5(1): 23-34.
- 姜广正. 中国禾本科植物上的蠕形菌(*Helminthosporium*). 植物病理学报, 1959, 5(1): 23-34.

- [50] Girilovich I S, Gulis V I, Khramtsov A K, *et al.* Micromycetes of state national park of republik Belarus II. Powdery mildew fungi. Mikologiya Fitopatologiya, 2005, 39: 24-30.
- [51] Braun U. The Powdery Mildews (*Erysiphales*) of Europe. Gustav Fischer Verlag, 1995: 337.
- [52] Boesewinkel H J. Erysiphaceae of New Zealand. Sydowia, 1979, 32: 13-56.
- [53] Adamska I. Microscopic fungus-like organisms and fungi of the Slowinski National Park. II. Acta Mycologica, 2001, 36: 31-65.
- [54] Rusanov V A, Bulgakov T S. Powdery mildew fungi of Rostov region. Mikologiya Fitopatologiya, 2008, 42: 314-322.
- [55] Bolay A. Powdery Mildews of Switzerland (Erysiphaceae). Cryptog: Helv, 2005: 1-176.
- [56] Zhao Z Y. Investigation of grassland plant disease in Xinjiang//Xinjiang Grassland Protection Corpus (The first corpus). Urumchi: Grassland Protection Research Institute of Xinjiang Bayi Agricultural College, 1986: 1-22.
赵震宇. 新疆草原植物病害调查//新疆草原保护文集(第一集). 乌鲁木齐: 新疆八一农学院草原保护研究所, 1986: 1-22.
- [57] Mujica F, Oehrens B E. Segunda Addenda a Flora Fungosa Chilena. Boletín Tecnico, 1967: 1-78.
- [58] Denchev C M. Class Ustomycetes (Orders Tilletiales, Ustilaginales, and Graphiolales). Fungi Bulgaricae, 2001: 1-286.
- [59] Savchenko K G, Heluta V P, Wasser S P, *et al.* Smut fungi of Israel: a preliminary check-list. Mycologia Balcanica, 2010, 7: 111-116.
- [60] Cho W D, Shin H D. List of Plant Diseases in Korea. Fourth edition. Korean Society of Plant Pathology, 2004: 779.
- [61] Lee L. Host index of the parasitic fungi of Szechwan, China. Plant Disease Reporter Supplement, 1948, 173: 1-38.
- [62] Liu R, Nan Z B. Grass disease of Huangyang town area in hexi corridor. Inner Mongolia Journal of Animal Husbandry and Veterinary, 1981, 1: 56-66.
刘若, 南志标. 河西走廊黄羊镇地区牧草的病害. 内蒙古畜牧兽医杂志, 1981, 1: 56-66.
- [63] Qi P K, Zhu G X. Fungal Diseases of Cultivated Plants in Jilin Province. Beijing: Science Press, 1996.
戚佩坤, 朱桂香. 吉林省栽培植物真菌病害志. 北京: 科学出版社, 1996.
- [64] Gilman J C, Archer W A. The fungi of Iowa parasitic on plants. Iowa State College Journal of Science, 1929, 3: 299-507.
- [65] Shi Y L. Overview of Plant Disease in Shanxi. Taiyuan: Joint Publishing House of Universities in Shanxi, 1991.
石银鹿. 山西植病总览. 太原: 山西高校联合出版社, 1991.
- [66] Nakajima T, Naito S. *Microdochium nivale*, causal pathogen of *Fusarium* blight in cereals and pink snow mold does not produce known mycotoxins. Annals of the Phytopathological Society of Japan, 1994, 60.
- [67] Marshall H G, Schein R D. Occurrence of snow mold, *Typhula itoana* Imai, on winter oats in Pennsylvania. Plant Disease Reporter, 1960, 44: 894-895.
- [68] Stanton T R. *Septoria* black stem of oats abundant in most of the north central states. Plant Disease Reporter, 1952, 36: 349.
- [69] Foister C E. The Economic Plant Diseases of Scotland; A Survey and Check List Covering the Years 1924-1957. Scotland: Technology Department of Agriculture and Fisheries, 1961: 1-210.
- [70] Catherall P L, Hayes J D. Oat Mosaic Virus. Plant Pathology, 1970, 19(2): 78-81.
- [71] Tai F L. Sylloge Fungorum Sinicorum. Peking: Science Press, 1979: 1527.
- [72] Peregrine W T H, Siddiqi M A. A revised and annotated list of plant diseases in Malawi. Phytopathological Papers, 1972, 16: 1-51.
- [73] Summers T E, Bowman D H. The cereal rusts and other diseases of small grains in Mississippi. Plant Disease Reporter, 1953, 37: 142-147.
- [74] He S Q, Wen Z H, Wang S R, *et al.* *Dactylobotrys graminicola*: a new phytopathogen causing sheath rot of hulless barley and oats. Mycosystema, 2015, 34(3): 331-340.
何苏琴, 文朝慧, 王生荣, 等. 引起青稞和燕麦鞘腐病的无性型菌物新属种—禾生指葡萄霉. 菌物学报, 2015, 34(3): 331-340.
- [75] Zhang X Y, Huo H L, Wang W, *et al.* First report of damping-off and seedling blight on oat caused by *Rhizoctonia solani* AG 2-1 in China. Plant Disease, 2016, 100(3): 653.
- [76] Glynne M D. Sharp eyespot as a severe disease of oats. Nature, 1950, 166: 232.
- [77] Tominaga T, Nishiyama K. Bacterial stripe blight of oats caused by *Pseudomonas striaefaciens*. Journal of Japanese Society of Grassland Science, 1968, 14: 51-55.
- [78] Murphy H C, Stanton T R, Coffman F A. Breeding for disease resistance in oats. Journal of the American Society of Agronomy, 1942, 1: 72.
- [79] Paul V H, Smith I M. Bacterial pathogens of Gramineae: systematic review and assessment of quarantine status for the EP-PO region. Bulletin OEPP/EPPO Bulletin, 1989, 19: 33-42.

- [80] Wilkie J P. Halo blight of oats in New Zealand. *New Zealand Journal of Agricultural Research*, 1972, 15(3): 461-468.
- [81] Yuan J H, Cao L X, Zhao S F, *et al.* Investigation on main oat diseases and pests in northwest of Hebei province. *Journal of Hebei North University*, 2015, 31(1): 35-39.
袁军海, 曹丽霞, 赵世锋, 等. 冀西北地区燕麦主要病虫害调查. *河北北方学院学报*, 2015, 31(1): 35-39.
- [82] Waney V R, Kingsley M T, Gabriel D W. *Xanthomonas campestris* pv. *translucens* genes determining host-specific virulence and general virulence on cereals identified by Tn5-gusA insertion mutagenesis. *Molecular Plant-Microbe Interaction*, 1991, 4(6): 623-627.
- [83] Zeyen R J, Banttarl E E. Histology and ultrastructure of oat blue dwarf virus infected oats. *Canada Journal of Botany*, 1972, 50: 2511-2519.
- [84] Creelman D W. Summary of the prevalence of plant disease in Canada in 1964. *Canada Plant Disease Report*, 1965, 53: 37-38.
- [85] Tomio U, Yasuo S. Purification and some properties of Oat Mosaic Virus. *Japanese Journal of Phytopathology*, 1981, 47(4): 581-585.
- [86] Li W Q, Wu E N S, Huang C X. Electron microscopic observation of the diseased oat leaves infected with oat red streak mosaic virus (ORSMV). *Acta Microbiologica Sinica*, 1984, 24(1): 34-36.
李维琪, 乌尔尼沙, 黄传贤. 燕麦红条花叶病毒在被感染燕麦细胞中的形态结构. *微生物学报*, 1984, 24(1): 34-36.
- [87] Guo Z X, Liu Y, Wang X Q, *et al.* Study of outbreak occurrence of Barley yellow dwarf virus on oat. *Inner Mongolia Agricultural Science and Technology*, 1998, 5: 18-19.
郭忠贤, 刘英, 王秀琴, 等. 燕麦红叶病发生规律的研究. *内蒙古农业科技*, 1998, 5: 18-19.
- [88] Liu G, Zhao G Q, Yang C D, *et al.* Primary study on biotic stress tolerance of oats in tibetan plateau. *Acta Agrestia Sinica*, 2007, 15(6): 582-587.
刘刚, 赵桂琴, 杨成德, 等. 青藏高原燕麦品种生物抗性初探. *草地学报*, 2007, 15(6): 582-587.
- [89] Nan Z B, Liu R. Disease of *Astragalus adsurgens* growing at five provinces of China and characteristics of their occurrence. *Pratacultural Science*, 1997, 14(6): 30-34.
南志标, 刘若. 我国五省(区/市)的沙打旺病害及其分布特征. *草业科学*, 1997, 14(6): 30-34.
- [90] Kurowski T P, Wysocka U. Fungal communities colonizing grain of hulled and naked oat grown under organic farming system. *Phytopathologia*, 2009, 54: 53-59.
- [91] Clear R M, Patrick S K, Gaba D. Prevalence of fungi and fusariotoxins on oat seed from western Canada, 1995 to 1997. *Canadian Journal of Plant Pathology*, 2000, 22(3): 310-314.
- [92] Marcelo A C, Zweegman J, Erlei M R. Detection and transmission of *Drechslera avenae* from oat seed. *Fitopatologia Brasileira*, 2004, 29(3): 319-321.
- [93] Tariq A H, Ahmad S, Hussain M A, *et al.* Seed-borne mycoflora of oats in the Punjab. *Pakistan Journal of Scientific and Industrial Research*, 2004, 47(1): 46-49.
- [94] Malone J P, Lorimer R. The incidence of pathogenic fungi in Northern Ireland barley and oat seed samples. *Plant Pathology*, 1975, 24(3): 140-143.
- [95] Leyva M S G, Cervantes G M A, Villasenor M H E, *et al.* Fungal diversity in oat seeds from the Central Valley of Mexico. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 2014, 5(8): 1379-1385.
- [96] Jin Z Q, Ding W J, He S Q, *et al.* Detecting seed-borne mycofloras of hulled and naked oat seed samples in Gansu province. *Seed*, 2012, 31(4): 31-34.
荆卓琼, 丁文娇, 何苏琴, 等. 甘肃省皮燕麦和裸燕麦种子带菌情况监测. *种子*, 2012, 31(4): 31-34.
- [97] Dong J G. *Agriculture Plant Pathology*. Beijing: China Agriculture Press, 2001: 83.
董金皋. 农业植物病理学. 北京: 中国农业出版社, 2001: 83.
- [98] Zhou R G. Preliminary study on the control of smut and *Avena fatua* of oat. *Journal of Henan Vocation-Technical Teachers College*, 1988, 16(2): 43-44.
周荣刚. 燕麦黑穗病和野燕麦防除的初步研究. *河南职技师院学报*, 1988, 16(2): 43-44.
- [99] Selamawit T, Ruth D, Helge S, *et al.* Infection process of *Fusarium graminearum* in oats (*Avena sativa* L.). *European Journal of Plant Pathology*, 2012, 132: 431-442.
- [100] Zhang Y X, Zhao G Q, Yao T, *et al.* Study on teliospore germination conditions of *Ustilago avenae* in oats. *Grassland and Turf*, 2014, 34(2): 33-37.
张玉霞, 赵桂琴, 姚拓, 等. 燕麦散黑穗病菌冬孢子萌发条件研究. *草原与草坪*, 2014, 34(2): 33-37.
- [101] Menzies J G, Turkington T K, Knox R E. Testing for resistance to smut diseases of barley, oats and wheat in western Canada. *Canadian Journal of Plant Pathology*, 2009, 31(3): 265-279.
- [102] Guo J G, Guo M K, Guo C, *et al.* Comparison of two inoculation methods for resistance of oats to *Ustilago segetum* var. *se-*

getum and resistance evaluation of germplasms. *Acta Phytophylacica Sinica*, 2013, 40(5): 425-430.

郭建国, 郭满库, 郭成, 等. 燕麦坚黑穗病抗性鉴定两种接种方法比较及种质抗性评价. *植物保护学报*, 2013, 40(5): 425-430.

- [103] Shang H S, Li X L. *Color Map of Diagnosis and Prevention of Wheat Crops Disease and Pests*. Beijing: Jindun Press, 2004.
- 商鸿生, 李修炼. 麦类作物病虫害诊断与防治原色图谱. 北京: 金盾出版社, 2004.
- [104] Wang Y N, Zhou K, Wang X F, *et al.* Studies on the movement of barley yellow dwarf virus-GAV in oat plant by RT-PCR. *Acta Phytopathologica Sinica*, 2009, 39(3): 249-253.
- 王亚南, 周锟, 王锡锋, 等. 大麦黄萎病毒-GAV在燕麦植株体内运动规律的初步研究. *植物病理学报*, 2009, 39(3): 249-253.
- [105] Li Y L, Li S Y. Evaluation of resistance of oat cultivars to covered smut. *Crops Genetic Resources*, 1986, 3: 32-34.
- 李怡琳, 李淑英. 燕麦(裸、皮)品种抗坚黑穗病鉴定. *作物品种资源*, 1986, 3: 32-34.
- [106] Yang C. Evaluation of resistance of oat cultivars to covered smut. *Acta Agriculturae Boreali Sinica*, 1984, 9(1): 72.
- 杨才. 燕麦品种资源抗坚黑穗病鉴定简报. *河北农学报*, 1984, 9(1): 72.
- [107] Guo M K, Guo J G, Guo C, *et al.* Resistance screening of oat germplasm to *Ustilago segetum* var. *segetum*. *Acta Phytophylacica Sinica*, 2012, 39(6): 575-576.
- 郭满库, 郭建国, 郭成, 等. 燕麦种质对坚黑穗病菌的抗性筛选. *植物保护学报*, 2012, 39(6): 575-576.
- [108] Simons M D. *Crown rust//The Cereal Rusts: Diseases, Distribution, Epidemiology, and Control*. Orlando: Academic Press, 1985: 131-172.
- [109] Shang H S, Jin Y Q, Samborski D J. A histopathological study on non-host and cultivar resistance of wheat, rye and oat to leaf and crown rusts. *Journal of Northwest Sci-Tech University of Agriculture and Forestry*, 1990, 18(3): 1-6.
- 商鸿生, 金元谦, Samborski D J. 三种麦类作物对叶(冠)锈菌非寄主抗病性与品种抗病性的组织病理学研究. *西北农业大学学报*, 1990, 18(3): 1-6.
- [110] Tan M Y A, Carson M L. Screening wild oat accessions from Morocco for resistance to *Puccinia coronata*. *Plant Disease*, 2013, 97: 1544-1548.
- [111] Chong J, Zegeye T. Physiologic specialization of *Puccinia coronata* f. sp. *avenae*, the cause of oat crown rust, in Canada from 1999 to 2001. *Canadian Journal of Plant Pathology*, 2004, 26: 96-108.
- [112] Leonard K J. Virulence of oat crown rust in Mexico. *Plant Disease*, 2005, 89: 941-948.
- [113] Jackson E W, Obert D E, Menz M, *et al.* Qualitative and quantitative trait loci conditioning resistance to *Puccinia coronata* pathotypes NQMG and LGCG in the oat (*Avena sativa* L.) cultivars Ogle and TAM O-301. *Theoretical and Applied Genetics*, 2008, 116(4): 517-527.
- [114] Jackson E W, Obert D E, Avant J B, *et al.* Quantitative trait loci in the Ogle/TAM O-301 oat mapping population controlling resistance to *Puccinia coronata* in the field. *Phytopathology*, 2010, 100(5): 484-492.
- [115] Chen G, Howard W R, Deon D S, *et al.* Identification of QTLs for horizontal resistance to crown rust in oat. *Journal of Zhejiang University*, 2001, 27(2): 151-155.
- 陈钢, Howard W R, Deon D S, 等. 燕麦对冠锈病水平抗性的 QTL 定位. *浙江大学学报*, 2001, 27(2): 151-155.
- [116] Shan B H X. Crown rust resistance induced by high temperature on oat. *Foreign Agriculture-Triticeae Crops*, 1989, 53(5): 18-19.
- 山本弘幸. 高温诱导燕麦冠锈病抗性. *国外农学—麦类作物*, 1989, 53(5): 18-19.
- [117] Fetch T, Dunsmore K. Stem rust of cereals in western Canada in 2002. *Canadian Plant Disease Survey*, 2003, 83: 76-77.
- [118] Martens J W. Stem rust of oats in Canada in 1977. *Canadian Plant Disease*, 1978, 58: 51-52.
- [119] Li T Y, Wu X X, Wang H, *et al.* The race and virulence patterns of *Puccinia* f. sp. *avenae* in China. *Journal of Triticeae Crops*, 2014, 34(4): 552-556.
- 李天亚, 吴限鑫, 王浩, 等. 我国燕麦秆锈菌生理小种与毒力分析. *麦类作物学报*, 2014, 34(4): 552-556.
- [120] Stakman E C, Levine M N, Bailey D L. Biologic forms of *Puccinia graminis* on varieties of *Avena* spp. *Journal of Agricultural Research*, 1923, 24: 1013-1018.
- [121] Newton M, Johnson T. Physiologic specialization of oat stem rust in Canada. *Canadian Journal of Research*, 1994, 22: 201-216.
- [122] Martens J W, Roelfs A P, Mckenzie R I H, *et al.* System of nomenclature for races of *Puccinia graminis* f. sp. *avenae*. *Phytopathology*, 1979, 69: 293-294.
- [123] Li T Y, Cao Y Y, Wu X X, *et al.* First report on race and virulence characterization of *Puccinia graminis* f. sp. *avenae* and resistance of oat cultivars in China. *European Journal of Plant Pathology*, 2015, 142: 85-91.

- [124] McCallum B D, Fetch T. Cereal rust control in Canada. *Australian Journal of Agricultural Research*, 2007, 58: 639-647.
- [125] Fetch J T G, Dunsmore K M. Physiologic specialization of *Puccinia graminis* on wheat, barley, and oat in Canada in 2001. *Canadian Journal of Plant Pathology*, 2004, 26: 148-155.
- [126] Niekerk B D, Pretorius Z A, Boshoff W H P. Pathogenic variability of *Puccinia coronata* f. sp. *avenae* and *P. graminis* f. sp. *avenae* on oat in South Africa. *Plant Disease*, 2001, 85: 1085-1090.
- [127] Fetch J T G. Effect of temperature on the expression of seedling resistance to *Puccinia graminis* f. sp. *avenae* in oat. *Canadian Journal of Plant Pathology*, 2006, 28(4): 558-565.
- [128] Yuan J H, Cao L X, Zhang L J, *et al.* Evaluation of resistance of main oat cultivars or lines to stem rust in northwest area of Hebei province. *Plant Protection*, 2014, 40(1): 165-168.
袁军海, 曹丽霞, 张立军, 等. 冀西北地区燕麦主栽品种(系)抗秆锈病鉴定. *植物保护*, 2014, 40(1): 165-168.
- [129] Vanacker H, Foyer C H, Tim L W C. Changes in apoplastic antioxidants induced by powdery mildew attack in oat genotypes with race non-specific resistance. *Planta*, 1999, 208(3): 444-452.
- [130] Sai L K, Nikola P, Elena V P, *et al.* Genetic studies of powdery mildew resistance in common oat (*Avena sativa* L.) I. Cultivars and breeding lines grown in Western Europe and North America. *Euphytica*, 1997, 96: 421-427.
- [131] Guo B, Guo M K, Guo C, *et al.* Identification and evaluation of oat germplasm resistance to powdery mildew. *Plant Protection*, 2012, 38(4): 144-146.
郭斌, 郭满库, 郭成, 等. 燕麦种质资源抗白粉病鉴定及利用评价. *植物保护*, 2012, 38(4): 144-146.
- [132] Zhu S, Kolb F L, Kaeppler H F. Molecular mapping of genomic regions underlying barley yellow dwarf tolerance in cultivated oat (*Avena sativa* L.). *Theoretical and Applied Genetics*, 2003, 106(7): 1300-1307.
- [133] Guo J G, Guo M K, Guo C, *et al.* Identification of the resistance of oats to aphid and Barley Yellow Dwarf Virus and evaluation of its utilization. *Scientia Agriculture Sinica*, 2012, 45(3): 575-583.
郭建国, 郭满库, 郭成, 等. 燕麦抗蚜性和抗 BYDV 病毒病鉴定及利用评价. *中国农业科学*, 2012, 45(3): 575-583.
- [134] Cao Y P. Research progress on the heredity of BYDV-resistance in wheat breeding of China. *Acta Agriculturae Boreali-occidentalis Sinica*, 2005, 14(1): 111-114.
曹亚萍. 我国小麦抗 BYDV 遗传育种研究进展. *西北农业学报*, 2005, 14(1): 111-114.
- [135] Liu P, Zhang L J, Liu S X, *et al.* Utilization of oat (*Avena sativa* L.) DNA in wheat breeding for resistance to yellow rust. *Acta Phytopythologica Sinica*, 2002, 29(4): 305-308.
刘萍, 张立杰, 刘生祥, 等. 燕麦 DNA 在小麦抗条锈病育种中的利用. *植物保护学报*, 2002, 29(4): 305-308.
- [136] Yuan J H, Cao L X, Shi B H, *et al.* Evaluation of main oat cultivars or lines resistance against *Drechslera* leaf spot in northwest Hebei province. *China Plant Protection*, 2014, 34(2): 31-33.
袁军海, 曹丽霞, 石碧红, 等. 冀西北地区燕麦主栽品种(系)对叶斑病抗性鉴定. *中国植保导刊*, 2014, 34(2): 31-33.
- [137] Nan Z B. Establishing sustainable management system for disease of pasture crops in China. *Acta Prataculturae Sinica*, 2000, 9(2): 1-9.
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.
- [138] He S Q, Guo M K, Zhao G Q, *et al.* Effect of imidacloprid • tebuconazole SC seed treatment to control oat BYDV in field. *Gansu Agriculture Science and Technology*, 2010, 12: 8-10.
何苏琴, 郭满库, 赵桂琴, 等. 吡虫啉 • 戊唑醇种子处理悬浮剂对燕麦红叶病的田间防效. *甘肃农业科学*, 2010, 12: 8-10.
- [139] Yang F, Li Y F, Han Z S, *et al.* Control effect of seed-coating agents on aphid and red leaf virus disease in oats. *Journal of Shanxi Agricultural Science*, 2013, 41(6): 623-625.
杨富, 李荫藩, 韩志顺, 等. 种子包衣防治燕麦苗期蚜虫和红叶病的药效实验. *山西农业科学*, 2013, 41(6): 623-625.
- [140] Zhang H Y, Liu Y G, Guo J G, *et al.* Control effect of two seed-coating agents on aphid and red leaf virus disease in oat. *Journal of Triticeae Crops*, 2010, 30(4): 775-777.
张海英, 刘永刚, 郭建国, 等. 两种悬浮种衣剂对燕麦蚜虫及红叶病的防治效果. *麦类作物学报*, 2010, 30(4): 775-777.
- [141] Li H X, Zhang H Y, Guo J G, *et al.* Control efficiency of oats seed-coating with thiamethoxam on aphids and red leaf and analysis of pesticide residue. *Journal of Triticeae Crops*, 2012, 32(6): 1205-1209.
李惠霞, 张海英, 郭建国, 等. 噻虫嗪种子包衣对燕麦蚜虫和红叶病的控制效果及农药残留分析. *麦类作物学报*, 2012, 32(6): 1205-1209.
- [142] Zhang Y X, Wang G J, Yao T, *et al.* Screening of fungicides for control of *Ustilago avenae* and effects of fungicides on the seedling growth of oat. *Acta Agrestia Sinica*, 2015, 23(3): 616-622.
张玉霞, 王国基, 姚拓, 等. 燕麦散黑穗病防治药剂筛选及其对燕麦幼苗生长的影响. *草地学报*, 2015, 23(3): 616-622.
- [143] Wang Q J, Niu D L, Jiang W P, *et al.* Effect and benefit of forage cultivation and livestock raising to the protection of eco-

system in the farming-pastoral region of Chaidamu Basin. *Acta Agrestia Sinica*, 2005, 13(3): 226-232.

王启基, 牛东玲, 蒋卫平, 等. 柴达木盆地农牧交错区种草养畜的生态经济效益. *草地学报*, 2005, 13(3): 226-232.

- [144] Zhao Z H, Yin Z, Yang P Y. Advance in the application of green crop pest control techniques. *Plant Protection*, 2011, 37(3): 29-32.

赵中华, 尹哲, 杨普云. 农作物病虫害绿色防控技术应用概况. *植物保护*, 2011, 37(3): 29-32.

- [145] Nan Z B. A study of use mixtures of different forage crop species for disease management. *Grassland and Forage of China*, 1986, 3(5): 40-45.

南志标. 混播治理牧草病害的研究. *中国草原与牧草*, 1986, 3(5): 40-45.

- [146] Han S, Zhu T H, Li F L. Advances in researches on mechanism of plant pathogenic mycotoxins. *Journal of Sichuan Forestry Science and Technology*, 2008, 29(6): 26-30.

韩珊, 朱天辉, 李芳莲. 植物病原真菌毒素作用机理研究进展. *四川林业科技*, 2008, 29(6): 26-30.

- [147] Nie H X, Li Y Z. Effects of sainfoin *Phoma* leaf spot on the yield and nutrition. *Pratacultural Science*, 2013, 31(4): 689-696.

聂红霞, 李彦忠. 茎点霉叶斑病对红豆草产量和养分的影响. *草业科学*, 2013, 31(4): 689-696.

- [148] Zhang M, Zhang M L, Guo J. Oat processing status and development trend of the industry in China. *Academic Periodical of Farm Products Processing*, 2014, 4: 49-51.

张曼, 张美莉, 郭军. 中国燕麦加工现状及产业发展趋势. *农产品加工*, 2014, 4: 49-51.

- [149] Wang C, Zhao Y B, Zhao J C, *et al.* Research progress on β -glucan of oat. *Grain Processing*, 2014, 2: 62-68.

王超, 赵有斌, 赵建城, 等. 燕麦 β -葡聚糖的研究进展. *粮油加工*, 2014, 2: 62-68.

- [150] Humphreys D G. Effects of nitrogen and sowing date on content of protein, oil and β -glucan in oats. *Foreign Agriculture-Wheat Crops*, 1995, 5: 26-28.

Humphreys D G. 氮肥和播期对燕麦蛋白质、油及 β -葡聚糖含量的影响. *国外农学-麦类作物*, 1995, 5: 26-28.