

Yanmai Kangnixing Yanjiu



燕麦

抗逆性研究

刘景辉 胡跃高 主编



中国农业出版社

燕 麦

.....
□□□□□□□□□□□□

抗逆性研究

刘景辉 胡跃高 主编



中国农业出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

燕麦抗逆性研究/刘景辉, 胡跃高主编. —北京:
中国农业出版社, 2010.12
ISBN 978-7-109-15130-7

I. ①燕… II. ①刘…②胡… III. ①燕麦—抗性—
研究 IV. ①S512.603.4

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2010) 第 212612 号

中国农业出版社出版

(北京市朝阳区农展馆北路 2 号)

(邮政编码 100125)

责任编辑 舒 薇

中国农业出版社印刷厂印刷 新华书店北京发行所发行

2011 年 6 月第 1 版 2011 年 6 月北京第 1 次印刷

开本: 787mm×1092mm 1/16 印张: 12

字数: 264 千字 印数: 1~2 000 册

定价: 30.00 元

(凡本版图书出现印刷、装订错误, 请向出版社发行部调换)

《燕麦抗逆性研究》

编辑委员会

主 编 刘景辉 胡跃高

副主编 武俊英 赵宝平 宋卫军

编 委 刘景辉 胡跃高 武俊英 赵宝平 宋卫军

任永峰 卢艳丽 李 倩 李立军 齐冰洁

范勇毅 王 莹 张星杰 王 林 张向前

【前言】



□□□□□□□□□□

燕麦为禾本科 (Gramineae) 燕麦属 (*Avena*) 一年生长日照作物, 一般分为皮燕麦和裸燕麦两大类, 我国栽培的燕麦以裸燕麦为主。燕麦籽粒营养价值高, 具有降低血脂、调节血糖、润肠通便、预防结肠癌、美容护肤、减肥、改善睡眠、抗疲劳等八大功效, 可广泛应用于心血管疾病、糖尿病、皮肤病预防和健康保健, 有望成为人类继水稻、小麦之后的“第三主粮”、“第一营养主粮”。燕麦又是优质饲用作物, 茎叶具有较高的饲用价值, 其蛋白质、脂肪、可消化纤维均高于小麦、大麦、黑麦、谷子、玉米, 而难以消化的粗纤维则低于以上作物, 青饲燕麦可以提高乳牛产奶量、家禽产蛋量和增强牲畜体质。

荒漠化已成为人类十大环境问题之首, 被称为“地球癌症”。燕麦具有抗旱、耐盐碱与耐瘠薄等特性, 有望成为治理荒漠化的先锋作物。土壤沙化、盐碱(渍)化(包括次生盐碱化)是世界范围内广泛存在的荒漠化类型, 在干旱、半干旱地区表现尤为突出。全球受到荒漠化影响的地区有 32 亿 hm^2 , 占全球陆地面积的 1/4, 并以每年 600 万 hm^2 的速度增长。中国是世界上荒漠化比较严重的国家之一, 沙化土地约 173.97 万 hm^2 , 占国土面积的 18.12%, 是导致贫困和环境恶化的重要原因之一。全球盐渍土面积约 9.54 亿 hm^2 , 中国盐渍土面积约 9 913.3 万 hm^2 , 其面积仍在不断地扩大。在干旱、瘠薄及盐渍化土地上科学地种植燕麦, 既可有效地解决粮食安全及饲草短缺问题, 又可起到改善生态环境、增加农民收入的多重作用, 经济、生态和社会效益显著。但有关燕麦抗逆性研究尚不深入, 因此, 开展燕麦抗旱、耐盐碱与耐瘠薄研究, 具有重要的理论意义和实践价值。

本书是关于燕麦抗旱、耐盐碱和耐瘠薄生态生理基础与技术的总结, 有关

工作历时5年。全书是在“948”燕麦重大项目“燕麦品种引进培育及综合利用技术研究”、农业部公益性行业(农业)科研专项“优质燕麦生产与加工技术研究”(NYHYZX07-009-13)、国家自然科学基金项目(30660084)及内蒙古自治区自然科学基金重大项目(200607010301)“燕麦治理荒漠化生态生理基础与技术体系研究”、国家及内蒙古自治区外专局“引智项目”、“燕麦新品种引进与荒漠化治理技术”、国家“十一五”科技支撑计划重点项目“农牧交错风沙区保护性耕作技术集成研究与示范”课题(2006BAD15B05),以及“国家现代农业产业技术体系建设专项资金”(nycytx-14)、内蒙古农业大学科技创新团队建设项目(NDTD2010-8)、内蒙古自治区科技计划项目(20090708)等有关项目多年研究成果基础上总结而成,同时总结了国内外大量相关研究成果,对燕麦抗旱、耐盐碱、耐瘠薄等抗逆特性及其农艺调控措施进行了深入探讨。全书共十章,第一章燕麦抗逆性研究概述;第二章至第四章燕麦耐盐性研究,包括燕麦不同品种耐盐生理特性、与其他粮饲作物耐盐性的差异及农艺调控措施的研究;第五章至第七章燕麦耐瘠薄特性研究,包括不同种植技术的沙地燕麦生物学性状及防风蚀效应研究;第八章至第十章燕麦抗旱性研究,包括水分胁迫对燕麦生长发育、产量及水分利用效率的影响,水氮处理对燕麦光合生理影响,叶片水分氮素光谱诊断技术研究。

本书系统地总结了燕麦抗旱、耐盐碱、耐瘠薄的特性及其农艺调控措施,愿为燕麦研究工作者提供有益的参考,为利用燕麦治理荒漠化提供理论依据和技术支持。在此,恳请读者提出宝贵意见,不吝赐教。

编 者

2010年8月

【目 录】

□□□□□□□□□□

前言

第一章 燕麦抗逆性研究概述	1
第一节 燕麦抗逆性研究的意义	2
一、土地荒漠化问题严重	2
二、燕麦抗逆性研究的目的、意义	4
第二节 燕麦抗逆性研究进展及研究目标	4
一、燕麦抗逆性研究进展	4
二、燕麦抗逆性研究目标	6
第二章 燕麦耐盐生理特性研究	7
第一节 不同品种燕麦耐盐性差异的研究	7
一、不同品种燕麦种子萌发的耐盐性差异	7
二、不同品种燕麦对盐胁迫的生长发育及生理生化差异	31
第二节 盐胁迫对燕麦生长和生理特性影响的研究	39
一、材料与方法	39
二、试验结果	41
三、小结	50
第三章 农艺措施对燕麦耐盐性的调控研究	52
第一节 盐胁迫下营养因子对燕麦生长及 K^+ 、 Na^+ 含量的影响	52
一、材料与方法	52
二、试验结果	53
三、小结	56
第二节 栽培耕作措施对燕麦耐盐适应性的影响	57
一、播种深度与耕作方式对燕麦耐盐碱及土壤全盐量的影响	58
二、燕麦与牧草混作适应盐胁迫的生理特征及土壤盐分变化	61
三、播种深度与覆盖对盐碱地燕麦生长和离子运移的调节作用	66

第三节 盐碱地燕麦高产栽培技术体系	73
一、技术要点	73
二、操作程序和标准	73
三、适宜区域	74
四、注意事项	74
第四章 燕麦与其他作物的耐盐性差异	75
一、材料与方法	75
二、试验结果	76
三、小结	81
第五章 不同种植技术沙地燕麦生物学性状研究	83
第一节 试验区概况	83
一、试验地基本情况	83
二、试验设计	84
第二节 不同种植技术燕麦物候期及产量差异	85
一、不同种植技术燕麦物候期观察	85
二、不同种植技术下燕麦生物产量及籽粒产量	85
第三节 不同种植技术燕麦生长特性和土壤水分变化	89
一、不同种植技术燕麦生长特性	89
二、不同种植技术燕麦土壤水分变化	94
第六章 不同模式燕麦防风蚀效应	100
第一节 植被覆盖度	100
一、两种土壤条件下燕麦植被覆盖度比较	100
二、灌溉与旱作条件下燕麦植被覆盖度比较	101
三、两年燕麦植被覆盖度比较	102
四、燕麦与其他作物植被覆盖度比较	102
第二节 土壤粒径	102
一、不同土壤粒径运动方式	102
二、不同处理土壤粒径变化	103
三、不同处理土壤养分变化	104
第三节 风蚀量(风洞试验)	105
一、对启动风速的影响	105
二、对输沙量的影响	106
第四节 小结	106

第七章 燕麦种植技术与防风蚀效应关系	108
第一节 生物产量与植被覆盖度的相关分析	108
一、两种土壤条件下生物产量与植被覆盖度的相关性	108
二、两种水分条件下生物产量与植被覆盖度的相关性	109
三、两年度生物产量与植被覆盖度的相关性	109
第二节 沙地燕麦高产栽培技术体系	109
一、技术要点	110
二、适宜区域	110
三、注意事项	110
第八章 水分胁迫对燕麦生长发育及产量的影响研究	111
第一节 水分胁迫对燕麦生长指标的影响研究	113
一、水分胁迫对植株地上部形态指标的影响研究	113
二、水分胁迫对燕麦地下部形态指标的影响研究	115
三、水分胁迫下燕麦根冠比的变化	117
第二节 水分胁迫对燕麦生理指标的影响研究	118
一、水分胁迫对燕麦叶片和根系保护酶活性的影响研究	118
二、水分胁迫对燕麦叶片和根系渗透调节物质的影响研究	118
三、水分胁迫对燕麦叶片和根系细胞质膜透性的影响研究	119
第三节 水分胁迫对燕麦产量的影响研究	119
一、产量模型的建立与检验	119
二、产量数学模型的解析和寻优	121
三、小结	123
第四节 燕麦各生理指标与产量的相关性分析	123
一、燕麦拔节期各生理指标与产量的相关性分析	123
二、燕麦孕穗期各生理指标与产量的相关性分析	123
三、燕麦开花期各生理指标与产量的相关性分析	124
第九章 不同水分条件对燕麦生长及水分利用效率的影响研究	125
第一节 不同水分条件及复水对燕麦光合生长、水分利用效率及产量的 影响研究	125
一、材料与方法	125
二、试验结果	126
三、小结	136
第二节 防雨池条件下限水灌溉对燕麦产量品质形成和水分利用效率的影响	137
一、材料与方法	137
二、试验结果	138

三、小结.....	142
第三节 不同灌溉次数对燕麦品种干物质积累、分配和转运的影响	142
一、材料与方法.....	143
二、试验结果.....	144
三、小结.....	148
第十章 水氮处理对燕麦光合生理及叶片光谱诊断技术的研究	150
第一节 不同水氮处理对燕麦光合及生长的影响研究	150
一、材料与方法.....	150
二、试验结果.....	152
三、小结.....	161
第二节 燕麦叶片水分氮素光谱诊断技术研究	161
一、材料与方法.....	162
二、试验结果.....	163
三、小结.....	172
主要参考文献.....	173

第一章 □□□□□□□□

燕麦抗逆性研究概述

[燕麦抗逆性研究]

燕麦属禾本科 (Gramineae) 燕麦属 (*Avena*) 一年生草本, 属于长日照作物。一般分为带稃型和裸粒型两大类。世界各国栽培的燕麦以带稃型的为主, 主要分布在前苏联、美国、加拿大、澳大利亚、波兰和爱尔兰等国, 常称为皮燕麦。我国栽培的燕麦以裸粒型的为主, 常称裸燕麦。裸燕麦的别名颇多, 在我国华北地区称为莠麦; 西北地区称为玉麦; 西南地区称为燕麦或莠麦; 东北地区称为铃铛麦。

燕麦株高 60~120cm, 须根系, 入土较深。幼苗有直立、半直立、匍匐 3 种类型; 抗旱抗寒者多属匍匐型, 抗倒伏耐水肥者多为直立型。

燕麦是世界性栽培作物, 分布在五大洲 42 个国家, 但集中产区是北半球的温带地区。燕麦在我国种植历史悠久, 遍及各山区、高原和北部高寒冷凉地带。据统计, 20 世纪初世界种植燕麦的面积约 1 400 万 hm^2 , 其中在我国的种植面积约为 40 万 hm^2 , 裸燕麦占燕麦播种面积 90%。主要分布于华北、西北和西南等区的高寒地带, 是粮饲兼用作物。我国的燕麦产区主要是内蒙古自治区的阴山南北, 河北省阴山和燕山地区, 山西省太行山和吕梁山区, 陕、甘、宁、青的六盘山、贺兰山和祁连山, 云、贵、川的大、小凉山高海拔地区。据《内蒙古统计年鉴》显示, 内蒙古燕麦种植面积最高是 1964 年, 达 71.3 万 hm^2 , 2007 年种植面积 6.4 万 hm^2 , 主要分布在乌兰察布市、赤峰市、通辽市、鄂尔多斯市、包头等地的旱作农业区, 约占全国的 40%, 居全国各省、自治区之首。

1. 极高的营养、保健及医疗价值 燕麦营养成分全面, 被誉为完美的食品。燕麦蛋白质和脂肪含量在谷物中居首位, 蛋白质含量为 15% 以上, 人体必需的 8 种氨基酸含量全面、较高; 脂肪含量为 7%~8%, 脂肪中亚油酸含量高; 每百克燕麦含钙量为 100mg 以上。此外, 镁、锰、铁、锌等矿物元素含量高。燕麦籽粒中富含可溶性膳食纤维 β -葡聚糖, 含量为 3.0%~6.0%, 显著高于其他作物。 β -葡聚糖具有降低胆固醇功效, 可预防和治疗由高血脂引起的心血管疾病。此外燕麦在糖尿病预防与治疗、肥胖病控制以及延缓衰老等方面的作用已被广泛证实。为此, 燕麦成为世界许多国家的热门研究课题, 已经开发出燕麦饼干、面包、休闲食品、早餐食品以及液体状燕麦纤维食品、低脂香肠、调料品和乳品饮料等系列产品。加工后的燕麦增值幅度大, 为 10 倍左右, 燕麦麸最高, 可达 30~50 倍, 具有高的经济效益。

2. 燕麦具有较高的饲用价值 燕麦的茎叶、秸秆多汁、柔嫩, 适口性好, 其中含有

丰富而易消化的营养物质。其蛋白质、脂肪、可消化纤维高于小麦、大麦、黑麦、谷子、玉米，而难以消化的粗纤维则低于以上作物。青饲燕麦可以提高乳牛产奶量是世界奶牛业所公认的。用燕麦籽粒饲喂幼畜、老弱病畜，可以提高牲畜体质，恢复膘情。燕麦还可以提高家禽的产蛋量，肉质鲜美，鸡蛋个大，蛋黄色泽好。

3. 燕麦具有良好的生态效益 燕麦在北方旱地玉米、高粱、牧草等都难以正常生长或严重减收的自然环境条件下，以其抗逆性强的特点，可以基本正常地生长。因此在土地瘠薄、干旱以及盐渍化耕地上种植燕麦，可以获得较好的经济和生态效益。我国近年来许多地区的实际经验已经证明：科学地种植燕麦，可以帮助农民战胜严酷的自然环境，有效阻止耕地退化；并起到改善农业生态环境、增加农民收入的双重作用。因此燕麦作为粮饲兼用作物，对于我国北方及西部地区退耕还草工程建设、发展农区畜牧业、农牧民增收具有重要意义。

第一节 燕麦抗逆性研究的意义

一、土地荒漠化问题严重

荒漠化是当今世界十大环境问题之首，是当前人类所面临的重大生态危机之一，已成为全人类共同的灾难，引起了国际社会的普遍关注。根据联合国环境署的资料，全球受到土地荒漠化影响的地区有 32 亿 hm^2 ，占全球陆地面积的 $1/4$ ，并以每年 600 万 hm^2 的速度增长。预计到 22 世纪初，全球将要损失的土地相当于现有耕地的 $1/3$ 。土壤沙化、盐碱（渍）化（包括次生盐碱化）问题是世界范围内广泛存在的荒漠化类型，特别是干旱、半干旱地区（朱鹤健和何宜庚，2003）。

（一）土壤盐渍化现状

盐渍土也称盐土或盐化土壤，是指地壳土层中含有大量可溶性盐的土壤。当土壤表层的含盐量超过 0.2% 时，对大部分农作物会产生不同程度的危害，盐渍土中含量较高的主要作用成分是 NaCl 和 Na_2SO_4 。据联合国教科文组织（UNESCO）和粮农组织（FAO）不完全统计，全世界的盐碱地面积为 9.54 亿 hm^2 ，已经成为世界灌溉农业可持续发展的资源制约因素。我国盐渍土面积大、分布广、类型多样，西北、华北、东北西部和滨海地区都有分布，根据盐渍土分布地区生物气候等环境因素的差异，大致可分为：滨海盐土与海涂，黄淮海平原盐渍土，东北松嫩平原盐土和碱土，半漠境内陆地盐土和青新极端干旱的漠境盐土等五大片（俞仁培和陈德明，1999）。据王遵亲等（1993）研究，现代盐渍化土壤面积约 3 693.3 万 hm^2 ，残余盐渍化土壤约 4 486.7 万 hm^2 ，潜在盐渍化土壤为 1 733.3 万 hm^2 ，各类面积总计 9 913.3 万 hm^2 ，面积相当于我国现有耕地的 $1/4$ ，现在其面积仍在不断地扩大。

盐渍土是一种非地带性土壤，其形成和分布与地带性自然条件有密切联系。内蒙古冲积平原属半干旱地区，年降水量较少，一年中的盐分平均积盐大于脱盐，表层土壤盐分重，心、底土盐分高，常有盐结晶析出，形成盐结皮或薄的盐结壳。依据《中国 1:100

万土地资源图》，内蒙古盐渍土面积为 763.01 万 hm^2 ，仅次于新疆（1 336.11 万 hm^2 ），占可利用耕地的 7.56%，占耕地面积的 23.8%（樊自立等，2001）。给农牧业经济造成很大的损失。

内蒙古的盐渍土中，盐离子以 Na^+ 、 K^+ 、 Cl^- 和 SO_4^{2-} 为主，据内蒙古农业大学土壤教研室多年研究证实，内蒙古盐渍土中 Cl^- 和 SO_4^{2-} 的比例在 1 左右。碱土中多以 CO_3^{2-} 为主，但 Cl^- 和 SO_4^{2-} 的比例仍为 1 左右，张海军（2007）、李跃进等（2002）在进行碱土改良试验研究中，对土默川平原碱土离子组成进行了分析（表 1-1），均证实了这一点，与本研究试验点的盐离子比例一致。因此，郭美兰（2006）对牧草的耐盐性评价选择了 NaCl 和 Na_2SO_4 摩尔质量 1:1 进行盐胁迫，卢炜丽（2006）对小麦的耐盐性研究，复盐也选择了 NaCl 和 Na_2SO_4 摩尔质量 1:1，模拟内蒙古盐渍土不同梯度盐分进行研究。

表 1-1 内蒙古不同试验区土壤化学性质

试验田	土壤盐分离子组成 (cmol/kg)							全盐量 (%)	pH
	1/2 Ca^{2+}	1/2 Mg^{2+}	$\text{K}^+ + \text{Na}^+$	Cl^-	1/2 SO_4^{2-}	HCO_3^-	1/2 CO_3^{2-}		
试验区 1	0.56	0.24	2.87	0.81	0.88	0.23	1.75	0.27	9.45
试验区 2	0.27	0.40	2.59	0.50	0.63	0.25	1.88	0.24	9.67
试验区 3	0.05	0.21	3.03	1.44	1.73	0.03	0.10	0.23	8.51

（二）土壤沙化现状

我国人均水资源占有量仅为 2 300 m^3 ，是全球平均水平的 1/4。水资源危机已成为 21 世纪最突出的环境问题，随着干旱频繁发生，经济和人口的增长，农业水资源缺乏变得日益尖锐（王会肖，刘昌明，2003）。我国是世界上 13 个贫水国家之一，农业每年缺水 300 亿 m^3 ，每年因旱灾造成粮食损失 100 亿 kg 左右，水资源短缺，已严重制约我国农村经济的发展。随着灌溉农田面积不断扩大，水资源的供需矛盾日益恶化，北方地区尤甚。由于没有科学合理利用水资源，水资源短缺已成为农业发展限制因素。黄河断流、淮河污染、耕地减少、草场退化、环境破坏、森林过度开采、土地荒漠化等问题日益突出，也是水资源过度开采造成的恶果（马瑞崑，贾秀领，2003）。所以在我国北方干旱和半干旱地区，水成为限制农业生产和整个国民经济发展的主要因素（山仑等，2004）。

我国沙化土地约 173.97 万 hm^2 ，占国土面积的 18.12%。一些地区沙化土地仍在扩展，我国北方的大部分地区荒漠化的主要形式就是沙漠化（王涛，2003），沙漠化是一个极为复杂的过程，包括物理过程、生物过程和风沙地貌的形成过程等多个方面。

土壤风蚀是沙漠化过程的重要组成部分和首要环节。风蚀已成为我国目前最大的环境和生态问题之一，影响到了国民经济的健康和可持续发展。对于全球范围来说，风蚀活动是一种比较普遍的现象，不仅发生在干旱和半干旱地区，在部分半湿润地区也有风蚀现象存在（朱震达，1992）。风蚀活动的影响时间、范围和作用非常深远。研究表明，广阔、深厚的黄土高原，就是由风蚀引起的沉积物经过漫长的地质变化过程形成的（刘东生等，1985）。研究显示，沙漠化土地是生态系统碳循环中的碳源。面对温室气体排放增加

导致的全球气候变暖现象,人们进行了大量的研究:植被恢复的关键主要是土壤的保护和恢复。

二、燕麦抗逆性研究的目的、意义

据2006年《中国农垦统计年鉴》资料显示,内蒙古自治区耕地面积59.40万 hm^2 ,水浇地占耕地面积的1/3,是重要的农牧业生产基地,其中程度不同的盐碱化面积占水浇地面积的一半以上,并在不断扩大。内蒙古的沙化土地面积更是比比皆是,到处可见沙化的耕地、沙丘以及荒漠化草原。燕麦在干旱、半干旱生态环境高度脆弱的地区具有广泛适应能力,是内蒙古的特色作物、绿色保健作物。研究燕麦的逆境生理特性,研究燕麦在逆境中生长的耕作栽培技术措施,可为燕麦的抗逆性育种(或种质资源鉴定)、高产栽培提供理论基础;并从理论上挖掘燕麦在恢复土地生产力以及改良盐碱地、沙地中所具有的潜力,提高土地利用率;为解决因荒漠化造成的生态环境问题提供新的有效途径,以解决生态脆弱地区的经济落后状况、土壤风蚀现象。燕麦抗逆性研究对于盐渍土、沙地资源的利用、燕麦的产业发展,提高生态效益和经济效益,具有重要的实际意义和广阔的应用前景。

第二节 燕麦抗逆性研究进展及研究目标

一、燕麦抗逆性研究进展

有关燕麦栽培措施研究,主要在播种期、播量、播种密度、化肥施用量、刈割强度、刈割时间、种植方式、丰产栽培技术、产量形成以及生育期调节对燕麦产质量的影响等方面进行。

燕麦的生理研究主要集中在光合生理和抗性生理方面。燕麦的光合生理包括光合产物的分配、不同器官同化 CO_2 的能力等方面,抗性生理研究主要包括抗旱性和耐盐性研究。

(一) 燕麦耐盐性研究进展

燕麦耐盐性研究是从2000年之后才引起人们的高度重视。王波等(2006)对盐胁迫下燕麦的适应性研究发现,随着盐胁迫程度的增加,燕麦的株高、叶面积明显受到抑制,胁迫严重时会枯萎;燕麦叶片和根系的水势较对照均有所降低,其中裸燕麦较皮燕麦水势下降幅度大。干物质积累率随着盐碱浓度的增大而增大并高于对照。随着盐碱浓度的升高,植株对 Na^+ 的吸收增加, K^+ 的吸收受抑制,从而使 Na^+/K^+ 值和 SNa^+/K^+ 值升高,而且叶片的 Na^+/K^+ 值最高,穗中 Na^+/K^+ 值最低。王波等(2005, 2007)利用人工模拟光源研究了盐碱胁迫下燕麦叶片的光合特性,通过光合速率等指标的研究得出,轻度盐胁迫(土壤含盐量相对于对照为0.126%)促进了燕麦叶片光合速率的提高,随着盐碱浓度的进一步增强,光合速率较对照降低,盐碱胁迫降低了燕麦叶片的胞间 CO_2 浓度和蒸腾速率,重度胁迫下燕麦的水分利用率增加。通过在人工控制条件下,对盐碱胁迫下燕麦叶

绿体超微结构的研究发现：随着盐碱浓度的增加，燕麦叶绿体膨胀，基粒片层扭曲、变形、松散，基质稀薄，淀粉粒消失，嗜银颗粒变为空腔，膜逐渐解体。但这种变化有品种差异。其他作物上对叶绿体超微结构的研究与燕麦一致，只是不同作物间变化的程度或形式上不同而已。刘建新（2003）研究了 Zn^{2+} 对燕麦种子萌发和幼苗生长的影响， Zn^{2+} 浓度高于 10^{-3} mol/L 时，燕麦种子萌发、种子中 α -淀粉酶活性和幼苗根系与地上部生长均受到明显抑制；随着 Zn^{2+} 浓度的增加，根系活力下降、细胞膜透性增加、硝酸还原酶活性降低、根冠比下降。燕麦种子和幼苗在盐胁迫下的萌发和生长特性以及水分胁迫下燕麦的反应是本研究的主要内容。

（二）燕麦抗旱性研究进展

抗旱性研究主要是在生理生化、光合作用、肥力水平等方面进行抗旱特性、抗旱栽培模式的研究。

在干旱情况下，燕麦调节水分能力很强，可以忍耐较长时间的干旱，因此，农民说的“莠麦妥皮”就是这个道理。在裸燕麦品种抗旱特性的研究方面，与不抗旱品种相比，抗旱品种有其特定的形态特征和生物学特性。其表现为：植株较高，地上节数多；穗叶距，穗节距短，穗颈细；叶片窄、短，且平展；分蘖数及次生根数多，前期生物产量高，后期干物质的根冠比大；小穗轮生层数多，小穗数多；分蘖力强，分蘖发生较早，分蘖期时间长，前期发育缓慢，生育期较长（山西莠麦专家系统）。另据 Kenneth（1998）对 1914—1987 年期间育成的燕麦品种抗旱性比较结果表明，1963 年以后育成的燕麦品种抗旱性更强，并且其开花后叶片衰老速率显著慢于老品种。燕麦不同品种间抗旱性强弱同植株形态特征及细胞水分生理特性有密切关系，徐惠云等（1997）对 6 个裸燕麦品种进行了抗旱性研究，认为植株高大，叶片大而下披，株形松散，抗倒性差，生育缓慢，叶片蒸腾强度低，渗透作用小，细胞浓度高，维持生命活动最低含水量低的品种，其抗旱能力强；不同生育时期的抗旱能力不同，生育前期比生育后期的抗旱能力强。Peltonen-Sainio（1997）的研究表明，生长在高纬度地区的燕麦，如果在灌浆期发生干旱，并不能从高的叶面积持续期（LAD）中获益，但如果没有发生干旱或在开花前发生干旱，高 LAD 有利于产量形成。河北省坝上农业科学所 1984—1986 年对裸燕麦采取的干旱胁迫试验证明（杨才，1996），燕麦在孕穗期前抗旱力强，在干旱胁迫下，籽实损失率为 31.9%；孕穗期后抗旱力弱，子实损失率达 51.8%，后期比前期子实损失率增加 20%。另据研究证明，燕麦品种间抗旱力强弱差异很大（曹广才等，1992）。在燕麦抗旱性鉴定方法研究方面，辛国荣、董美玲（1995）等通过对测定不同燕麦品种在不同水分胁迫下其叶片相对含水量、叶绿素含量、质膜透性、气孔孔径、脯氨酸含量及乙烯释放等生理指标的变化，分析了其变化规律及其与抗旱性的关系。并运用模糊数学对各个指标进行综合评定和数量化分析，并以此对燕麦进行抗旱性鉴定。

通过对以上文献的综合分析，燕麦是一种抗旱能力较强而水分利用效率较低的作物，并且对其抗旱性方面的研究有了较深入的研究；在对其需水规律的研究方面，对其需水关键期有了初步的认识，但具体到各生育时期的水分运筹和水分利用效率鲜有报道，所以有必要对燕麦节水灌溉条件下水分生理以及如何通过合理水分调控来切实提高产量及其水分

利用效率作更深入的研究。

二、燕麦抗逆性研究的目标

燕麦耐盐性研究方面，从种子萌发、幼苗生理特性、种植等方面，全面掌握燕麦耐盐的不同生育时期、不同指标的耐盐浓度范围，揭示燕麦幼苗的耐盐机制，为耐盐资源的评价、盐碱地燕麦栽培模式的建立奠定理论基础。

燕麦耐瘠薄研究方面，通过燕麦在沙地的试验研究，确立燕麦沙地栽培的优化种植模式和抗风蚀优化种植组合。

燕麦抗旱性研究方面，利用温室盆栽试验与防雨池及田间栽培试验，田间无损检测测定（光合、叶片光谱反射率、叶绿素值）与室内生理分析（含水量、含氮量、水势）相结合的方法，分析燕麦水分和氮素生态生理特征，并探索建立适宜的水氮光谱诊断模型。

第二章 □□□□□□□□

燕麦耐盐生理特性研究

[燕麦抗逆性研究]

当土壤表层的含盐量超过 0.2% 时, 对大部分农作物会产生不同程度的危害。植物能够在盐碱地上生长发育是适应盐胁迫、获得效益的前提, 盐分对植物个体形态具有显著的影响, 许多试验表明盐胁迫抑制了植物组织和器官的生长, 加速了发育进程, 使营养生长期和开花期缩短, 减少禾本科植物的分蘖和籽粒数等。燕麦能够通过自身的生理调节, 发生一系列的生理反应以适应盐胁迫。

第一节 不同品种燕麦耐盐性差异的研究

一、不同品种燕麦种子萌发的耐盐性差异

盐胁迫使所有植物的种子萌发、生长发育都会受到抑制, 不同植物品种对于种子萌发的致死盐浓度、耐受水平和生长降低率不同。盐胁迫对小麦、玉米、甜菜、罗布麻和披碱草、星星草等牧草种子, 以及荆条、白蜡等园林植物的研究证实, 高浓度的盐分对植物生长有抑制作用, 低浓度的盐分对植物生长影响较小, 并具有一定的促进作用。盐分的选择既有单盐 (NaCl 、 Na_2SO_4 、 Na_2CO_3 、 NaHCO_3 等), 也有混盐 (NaCl 和 Na_2SO_4 、 Na_2CO_3 和 NaHCO_3 等)。本小节以盐渍土壤中含有较高的 NaCl 和 Na_2SO_4 进行燕麦种子耐盐萌发研究, 通过分析盐胁迫对不同燕麦种子萌发及幼苗的影响, 确定种子萌发的耐盐浓度范围和耐盐指标, 以及种子贮藏蛋白和萌发诱导产生的 α -淀粉酶与耐盐性的关系。为燕麦抗盐种质资源的鉴定、抗盐育种和指导燕麦生产提供理论基础。

(一) NaCl 和 Na_2SO_4 胁迫下 36 个燕麦品种的耐盐性差异

1. 材料与方法

(1) 试验材料 燕麦 (*Avena sativa* L.) 品种 (系) 材料见表 2-1, 编号 Y01~Y05、Y09、Y12、Y21、Y27~Y30 共 12 个皮燕麦; 其余是裸燕麦。

供试盐分及比例: NaCl 和 Na_2SO_4 按摩尔浓度 1:1 用去离子水配制成含盐量 0~4.8% 的盐溶液, 每 0.4% 为一个梯度, 以含盐量 0 为对照。