

《中国农业科学博士论丛》

豌豆对干旱胁迫的 响应机制研究

◎闫志利 牛俊义 等 著

中国农业科学技术出版社

《《中国农业科学博士论丛》》

豌豆对干旱胁迫的 响应机制研究

◎闫志利 牛俊义 等 著

中国农业科学技术出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

豌豆对干旱胁迫的响应机制研究/闫志利, 牛俊义等著. —北京: 中国农业科学技术出版社, 2012. 7

ISBN 978-7-5116-0931-1

I. ①豌豆… II. ①闫… ②牛… III. ①豌豆-水分胁迫-研究
IV. ①Q945.78 ②S643

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2012) 第 118921 号

责任编辑 崔改泵 刘 燕

责任校对 贾晓红

出版发行 中国农业科学技术出版社

北京市中关村南大街 12 号 邮编: 100081

电 话 (010) 82109194 (编辑室) (010) 82109704 (发行部)
(010) 82109703 (读者服务部)

传 真 (010) 82106631

社 网 址 [http:// www. castp. cn](http://www.castp.cn)

经 销 各地新华书店

印 刷 北京富泰印刷有限责任公司

开 本 787mm × 1082mm 1/16

印 张 14

字 数 243 千字

版 次 2012 年 7 月第 1 版 2012 年 7 月第 1 次印刷

定 价 35.00 元

版权所有·翻印必究

主要著者:

闫志利 河北科技师范学院, 博士, 副研究员, 硕士生导师

牛俊义 甘肃农业大学, 博士, 教授, 博士生导师

参加著作者:

张红萍 (甘肃农业大学农学院)

轩春香 (甘肃农业大学农学院)

席玲玲 (甘肃农业大学生命科学学院)

牛小霞 (甘肃省农垦农业研究院)

周海燕 (甘肃农业大学农学院)

蒋 娟 (华中农业大学)

内容提要

本书为“十一五”期间甘肃农业大学博士研究生导师牛俊义教授所带领的博士、硕士团队承担的甘肃省教育厅科研项目——“豌豆对水分胁迫的响应机制及复水补偿效应”研究成果。全书共分为九章，首先介绍了研究背景及研究过程，分析了国内外研究现状，并对研究思路与方法进行了阐释。在此基础上，研究了豌豆植株外部形态、干物质积累及部分生理、生化指标对土壤水分变化的响应结果，并对旱后复水补偿效应进行了评价，探讨了复水激发效应、滞后效应与补偿效应之间的相互关系。最后介绍了相关研究结论以及应对当前干旱胁迫环境、开发作物自身节水潜力的技术路径，对今后相关研究进行了前瞻。

本书可供农业科技工作者以及研究者进行相关研究时参考。

前 言

干旱是当今世界最重要的生态问题之一，也是制约农业生产的关键因子。据有关学者测算，全世界每年因干旱所造成的经济损失高达 6 080 亿美元。我国有 52% 的国土属于干旱或半干旱区，每年因旱灾减产粮食达 1.00×10^{11} kg 以上，干旱成为我国农业发展的最大制约因素。特别是近年来，随着全球气候变暖，天然降水格局发生变化，我国干旱缺水地区涉及北方和西部 2 大区域、25 个省（市、自治区），总面积达 5.00×10^6 km²。同时，气候变暖导致土壤水分蒸散增加，一些地区更加干燥，极端干旱事件的量级和频率升高，干旱范围和程度加剧，直接或间接地影响整个农业生态系统的良性循环和作物的正常生长。水资源短缺、干旱化加剧等问题日渐对我国社会经济实现可持续发展提出严峻挑战。因此，认识作物对干旱胁迫的响应机制及抗旱机理，以及探讨作物抗旱节水栽培技术，成为作物科学研究中的热点问题，也是农业生产中迫切需要解决的理论与现实问题。

基于上述状况，“十一五”期间，甘肃农业大学博士生导师牛俊义教授带领一支博士、硕士团队，在国家科技部、甘肃省教育厅的资助下，进行了“豌豆对水分胁迫的响应机制及复水补偿效应”研究，明确了干旱胁迫及复水对豌豆外部形态、根、叶等主要生理生化指标和产量及其构成因子的影响，并对相关机理进行了深入探讨。经甘肃省科技查新检索咨询中心（国家一级科技查新咨询单位）认定，该研究填补了国内开发豌豆自身抗逆特性、建立了抗旱节水栽培技术体系、促进高产稳产方面的研究空白，对挖掘干旱半干旱地区作物自身节水潜力和应对干旱胁迫具有重要的意义。经甘肃省科技厅组织的专家技术鉴定，项目研究达到国内领先水平。研究团队先后完成博士论文 1 篇、硕士论文 3 篇，并有 9 篇论文在《中国生态农业学报》《华北农学报》《干旱地区农业研究》《甘肃农业大学学报》等学术刊物发表。在此基础上，研究团队对相关研究进行了全面回顾总结。全

书首先介绍了研究背景及研究过程，系统分析了国内外研究现状，并对研究思路与方法进行了阐释。在此基础上，分析了豌豆植株外部形态、干物质积累及部分生理、生化指标对土壤水分变化的响应结果，并对旱后复水补偿效应进行了评价，探讨了复水激发效应、滞后效应与补偿效应之间的相互关系。最后介绍了相关研究结论以及应对干旱胁迫环境、开发作物自身节水潜力的技术路径。完稿后，由牛俊义教授进行了全面审定，并提出具体修改意见。在项目研究过程中，甘肃省会宁县农牧局刘宏胜，甘肃农业大学魏晋梅、吴兵、高玉红，酒泉职业技术学院顾建勤、王金明、李文有等也都做了大量工作，故本书是所有参研人共同智慧的结晶。同时，也得到了甘肃省农业科学院刘建华博士、吉林农业大学刘学周博士等的大力协助，在此致以诚挚的谢意。在本书出版过程中，得到中国农业科学技术出版社河北工作站、河北科技师范学院学报编辑部主任赵友研究员的大力支持，在此深表谢意。

该研究是领域内的创新，也是对过去研究工作的系统总结，研究成果有益于为下一步研究厘清思路，以便更好地解决作物抗旱栽培和农业生产上的实际问题，但限于我们的学术水平，不当之处在所难免，敬请各位专家学者及读者批评指正。

编著者

2012年5月8日

目 录

1 导论	(1)
1.1 研究目的与意义	(1)
1.1.1 研究背景	(1)
1.1.2 研究目的及意义	(3)
1.1.3 研究过程	(4)
1.2 国内外研究现状	(7)
1.2.1 作物对于干旱胁迫的响应机制	(8)
1.2.2 作物的旱后复水效应	(14)
1.2.3 干旱胁迫与复水的滞后效应	(21)
1.2.4 补偿效应在农业生产中的应用	(22)
1.3 研究思路与试验设计	(22)
1.3.1 研究内容	(23)
1.3.2 研究设计和研究方法	(24)
1.3.3 数据分析	(31)
2 豌豆植株外部形态对于干旱胁迫的响应	(34)
2.1 苗期植株形态对于干旱胁迫的响应	(34)
2.1.1 冠层外部形态的响应	(35)
2.1.2 根系外部形态的响应	(38)
2.2 花荚期植株形态对于干旱胁迫的响应	(41)
2.2.1 冠层外部形态的响应	(41)
2.2.2 根系外部形态的响应	(44)
2.3 荚果充实期植株形态对于干旱胁迫的响应	(47)
2.3.1 冠层外部形态的响应	(47)

2.3.2	根系外部形态的响应	(50)
2.4	小结与讨论	(52)
3	豌豆干物质积累及分配对干旱胁迫的响应	(55)
3.1	干物质积累对干旱胁迫的响应	(55)
3.1.1	苗期干物质积累的响应	(56)
3.1.2	花荚期豌豆干物质积累的响应	(60)
3.1.3	荚果充实期干物质积累的响应	(64)
3.2	干物质分配对干旱胁迫的响应	(68)
3.2.1	苗期干物质分配的响应	(68)
3.2.2	花荚期干物质分配的响应	(70)
3.2.3	荚果充实期干物质分配的响应	(73)
3.3	小结与讨论	(75)
4	豌豆生理指标及根瘤对干旱胁迫的响应	(77)
4.1	苗期生理指标及根瘤生长对干旱胁迫的响应	(77)
4.1.1	根系生理指标的响应	(78)
4.1.2	叶片生理指标的响应	(80)
4.1.3	根瘤生长的响应	(82)
4.2	花荚期生理指标及根瘤生长对干旱胁迫的响应	(84)
4.2.1	根系生理指标的响应	(84)
4.2.2	叶片生理指标的响应	(86)
4.2.3	根瘤生长的响应	(88)
4.3	荚果充实期生理指标及根瘤生长对干旱胁迫的响应	(90)
4.3.1	根系生理指标的响应	(90)
4.3.2	叶片生理指标的响应	(92)
4.3.3	根瘤生长的响应	(94)
4.4	小结与讨论	(96)
5	豌豆内源激素含量对干旱胁迫的响应	(98)
5.1	苗期内源激素含量对干旱胁迫的响应	(98)
5.1.1	根系内源激素含量的响应	(99)
5.1.2	叶片内源激素含量的响应	(103)
5.2	花荚期内源激素含量对干旱胁迫的响应	(107)
5.2.1	根系内源激素含量的响应	(107)
5.2.2	叶片内源激素含量的响应	(111)

5.3	荚果充实期内源激素含量对干旱胁迫的响应	(115)
5.3.1	根系内源激素含量的响应	(115)
5.3.2	叶片内源激素含量的响应	(120)
5.4	小结与讨论	(124)
6	豌豆保护酶活性及膜脂过氧化对干旱胁迫的响应	(126)
6.1	苗期抗氧化能力对干旱胁迫的响应	(127)
6.1.1	保护酶活性的响应	(127)
6.1.2	过氧化产物及膜脂透性的响应	(129)
6.1.3	抗氧化能力对干旱胁迫响应的综合评价	(131)
6.2	花荚期抗氧化能力对干旱胁迫的响应	(131)
6.2.1	保护酶活性的响应	(132)
6.2.2	过氧化产物及膜脂透性的响应	(134)
6.2.3	抗氧化能力对干旱胁迫响应的综合评价	(136)
6.3	荚果充实期抗氧化能力对干旱胁迫的响应	(136)
6.3.1	保护酶活性的响应	(137)
6.3.2	过氧化产物及膜脂透性的响应	(139)
6.3.3	抗氧化能力对干旱胁迫响应的综合评价	(140)
6.4	小结与讨论	(141)
7	豌豆叶片细胞溶质积累对干旱胁迫的响应	(143)
7.1	苗期叶片细胞溶质积累对干旱胁迫的响应	(144)
7.1.1	可溶性蛋白含量的响应	(144)
7.1.2	脯氨酸含量的响应	(145)
7.1.3	可溶性糖含量的响应	(145)
7.2	花荚期叶片细胞溶质积累对干旱胁迫的响应	(146)
7.2.1	可溶性蛋白含量的响应	(146)
7.2.2	脯氨酸含量的响应	(147)
7.2.3	可溶性糖含量的响应	(148)
7.3	荚果充实期叶片细胞溶质积累对干旱胁迫的响应	(149)
7.3.1	可溶性蛋白含量的响应	(149)
7.3.2	脯氨酸含量的响应	(150)
7.3.3	可溶性糖含量的响应	(150)
7.4	小结与讨论	(151)

8 豌豆籽粒灌浆及产量对干旱胁迫的响应	(154)
8.1 苗期籽粒灌浆及产量对干旱胁迫的响应	(155)
8.1.1 籽粒干物质积累的响应	(155)
8.1.2 干物质积累方程的拟合	(156)
8.1.3 籽粒灌浆速率的响应	(157)
8.1.4 籽粒灌浆特征参数分析	(157)
8.1.5 主要灌浆参数与粒重的相关分析	(158)
8.1.6 产量构成因子的响应	(159)
8.2 花荚期籽粒灌浆及产量对干旱胁迫的响应	(159)
8.2.1 籽粒干物质积累的响应	(160)
8.2.2 干物质积累方程的拟合	(160)
8.2.3 籽粒灌浆速率的响应	(161)
8.2.4 灌浆特征参数的比较分析	(162)
8.2.5 主要灌浆参数与粒重的相关分析	(163)
8.2.6 产量构成因子的响应	(163)
8.3 荚果充实期籽粒灌浆及产量对干旱胁迫的响应	(164)
8.3.1 籽粒干物质积累的响应	(164)
8.3.2 干物质积累方程的拟合	(165)
8.3.3 籽粒灌浆速率的响应	(166)
8.3.4 灌浆特征参数的比较分析	(167)
8.3.5 主要灌浆参数与粒重的相关分析	(167)
8.3.6 产量构成因子的响应	(168)
8.4 小结与讨论	(168)
9 主要结论与研究前瞻	(171)
9.1 主要研究结论	(172)
9.1.1 豌豆对干旱胁迫的响应	(172)
9.1.2 复水的激发效应和补偿效应	(175)
9.1.3 主要创新点	(178)
9.1.4 应用途径	(179)
9.2 抗旱研究前瞻	(181)
9.2.1 加强作物抗旱机理研究	(181)
9.2.2 挖掘水资源的时空分布	(182)
9.2.3 开发利用生物抗旱技术	(183)

9.2.4	完善农艺抗旱技术体系	(184)
9.2.5	合理运用化学抗旱措施	(185)
9.2.6	培育区域抗旱高产品种	(186)
参考文献		(188)
附件 缩略词表		(206)

1 导 论

“十一五”初期，在国家科技支撑项目的资助下，甘肃农业大学牛俊义教授带领一支博士、硕士研究生团队，就豌豆抗旱机理进行了初步研究。在积累部分研究经验的基础上，研究团队于 2007 年正式向甘肃省教育厅申报了《豌豆对水分胁迫的响应及复水补偿效应研究》项目并获得批准。至 2010 年 10 月，研究工作取得阶段性成果。

1.1 研究目的与意义

1.1.1 研究背景

本项目研究主要基于当前的社会发展背景、水资源利用背景和豌豆市场与生产背景进行。

1.1.1.1 社会发展背景

干旱是当今世界最重要的生态问题之一，也是制约农业生产的主要逆境因子。据 Wilhite 测算，全世界每年因干旱所造成的经济损失高达 6 080 亿美元（Wilhite, 2000）。我国有 52% 的国土属于干旱或半干旱区，每年因旱灾减产粮食达 1.00×10^{11} kg 以上，干旱缺水一直是制约我国农业发展的瓶颈因素。特别是近年来，随着全球气候变暖，天然降水格局发生较大变化，我国干旱缺水地区涉及 25 个省、自治区和直辖市，分布于北方和西部两大区域，耕地面积约 5.00×10^6 km²，占国土总耕地面积的 64%。其中，西北、华北、西南旱作农业区尤为突出，涉及 13 个省（市、自治区）、742 个县（市），总土地面积约 2.00×10^6 km²，总人口约 2.6×10^9 人（Wallace, 2000；王志伟等，2003）。同时，气候变暖导致土壤潜在蒸散增加，一些地区趋于更加干燥（尚宗波等，2001），极端干旱事件的量级和频率逐步升高，干旱范围和程度逐步加剧，直接或间接地影响整个区域农业生态系统

的良性循环和作物的正常生长（尚宗波等，2001；IPCC，2001；白丽萍，2005）。特别是2008年11月份以来，我国北方冬麦区降水持续偏少，部分地区降水量的偏少程度已接近或突破历史极值。据统计，每年山东、河北、山西、陕西、甘肃等省麦田受旱面积均超过一半。水资源短缺、干旱化加剧等问题日渐对我国社会经济实现可持续发展提出严峻挑战。

1.1.1.2 水资源利用背景

我国水资源极其贫乏，人均占有水资源量仅为 $2\,670\text{m}^3$ ，只相当于世界平均水平的 $1/4$ ，全国每年缺水约 $3.60 \times 10^{11}\text{m}^3$ 。水资源分布极不均衡，区域性、季节性干旱问题非常突出，尤其北方地区、西部地区缺水状况日趋严重。在我国 $1.33 \times 10^8\text{hm}^2$ 耕地中，有 $5.5 \times 10^7\text{hm}^2$ 的耕地是无灌溉条件的干旱地（白文明等，2002）。我国农业用水占全国用水总量的80%，灌溉用水效率仅为40%左右，每 1m^3 水生产粮食不足1kg，与世界发达国家每 1m^3 水生产粮食2kg以上的水平相比差距极大（段爱旺等，2000）。水资源供需失衡、水环境恶化等已对我国社会经济及人民生活造成严重影响，科学、合理地节约利用水资源，关系到人口、资源、环境、生态等可持续发展战略，是当前我国经济和社会发展的一项紧迫任务。

1.1.1.3 豌豆市场与生产背景

豌豆（*Pisum Sativum* Linn.）属豆科（Leguminosae）、豌豆属，是一种粮、菜、饲、肥兼用作物。近年来，豌豆因其适应性强、用途广泛、营养丰富、种植经济效益高越来越受到生产者和广大消费者的青睐，种植面积不断扩大，市场销售额不断提升。豌豆根瘤固氮量比其他作物高，一季豌豆固氮量可达 $60.0 \sim 120.0\text{kg}/\text{hm}^2$ ，对旱农生态系统氮素平衡起着决定性作用，是旱作农业生产中主要的倒茬养地作物（连荣芳等，2008）。豌豆是世界第四大食用豆类作物（郑卓杰等，1997），具有广泛的种植地域。据统计（FAO，2006年），全世界有88个国家生产干豌豆，栽培面积 $6.58 \times 10^6\text{km}^2$ 左右，总产达 $11.26 \times 10^6\text{t}$ ；有72个国家生产鲜豌豆，种植面积 $1.12 \times 10^6\text{km}^2$ 左右，总产达 $9.10 \times 10^6\text{t}$ 。2000~2005年，全世界平均干豌豆栽植面积较大的前5个国家依次是加拿大（ $1.20 \times 10^6\text{km}^2$ ）、中国（ $9.1 \times 10^5\text{km}^2$ ）、印度（ $7.3 \times 10^5\text{km}^2$ ）、俄罗斯（ $7.2 \times 10^5\text{km}^2$ ）和法国（ $3.4 \times 10^5\text{km}^2$ ），鲜豌豆种植面积较大的5个国家依次是印度（ $3.3 \times 10^5\text{km}^2$ ）、中国（ $2.2 \times 10^5\text{km}^2$ ）、美国（ $9.0 \times 10^5\text{km}^2$ ）、英国（ $4.0 \times 10^5\text{km}^2$ ）和法国（ $3.0 \times 10^5\text{km}^2$ ）。可见，我国在世界豌豆生产中具有举足轻重的地位。

我国豌豆生产有着2000多年的历史，常年生产种植总面积稳定在 $1.13 \times$

10^6km^2 以上, 占世界种植总面积近 15%, 总产(干豌豆) $1.60 \times 10^6\text{t}$ 左右, 各省、市、自治区均有种植。由于我国 52.5% 的豌豆生产区集中于山区或干旱、半干旱地区, 主要依靠有限的天然降水种植, 干旱是限制豌豆产量、品质和种植效益的主要因素。尽管近年来我国一些豌豆主产区通过选用优良品种、改进栽培技术、兴修农田水利设施等综合措施, 单产达到了 $3\,750 \sim 5\,250\text{kg}/\text{hm}^2$, 但与世界豌豆生产先进国相比, 仍有较大差距。面对国内外市场对优质无公害豌豆需求日益增长的强劲态势, 发展包括豆粒、软荚、嫩梢等产品在内的豌豆生产及其速冻冷藏制品, 已经成为我国广大农村改善种植结构、发展现代农业和外向型经济、扩大农产品加工规模、提高农民收入的一条重要途径。促进我国豌豆生产的发展, 必须立足现状, 着力解决水的制约因素。深入研究豌豆对干旱胁迫的响应机制和复水补偿效应, 通过科学合理的途径充分挖掘和利用豌豆自身生长和生理、生化潜力, 最大限度地降低干旱所造成的损失, 对促进我国豌豆生产发展具有重要的理论价值和实践意义。

1.1.2 研究目的及意义

本研究以市场前景好、增产潜力大、产品用途广、对农民增收带动力强的作物——豌豆为对象, 在总结前人相关研究成果的基础上, 以豌豆对干旱胁迫的响应机制和复水补偿效应为研究内容, 系统分析干旱胁迫对豌豆生长发育、生理代谢、生化特征及干物质积累分配规律和产量形成等方面的影响, 探讨复水激发效应、补偿效应的强度、可利用程度以及内在机制, 为确立旱地豌豆的优质高产节水(抗旱)栽培技术提供理论依据, 为扩大豌豆种植面积、增加农民收入提供技术支撑。

1.1.2.1 探索开发作物抗逆特性, 促进高产稳产

在当前全球水资源日趋紧张的形势下, 无论是旱作农业还是灌溉农业, 作物一生会经常遇到不同程度的干旱胁迫, 田间会经常出现“干湿交替”或“低水多变”等情况, 年度间以及年度内的自然降水也存在着较大的差异。由于我国农业生产抵御自然灾害的能力较低, 农业“望天收”局面一时难以改变。立足作物自身特性, 研究掌握作物对土壤干旱胁迫的响应和复水效应, 对作物适应干旱逆境、实现高产稳产具有重要的现实意义, 可为节水农业和旱地集水农业的发展奠定坚实的理论基础。

1.1.2.2 节约利用现有水资源, 提高其利用效益

就灌溉农业而言, 充分了解各种作物对干旱胁迫的敏感期和复水灌溉

的有效期, 准确把握作物的需水临界期和补偿高效期, 并根据作物需水规律选择合适的生育时期进行干旱锻炼, 可形成节水高效的灌水模式, 实现合理、高效用水, 使作物的用水分配更加合理化、科学化, 用水效率实现经济化、集约化, 增产潜力得到最大限度发挥。就旱作农业而言, 人们可利用自然降水规律进行“逐雨栽培”, 或通过拦截自然降水于作物需水临界期进行补灌, 利用复水对作物生理生态功能的激发效应、补偿效应弥补干旱胁迫所造成的各种危害, 实现作物自身特性与给水环境的有效统一, 共同发挥二者潜力, 达到在干旱胁迫下少减产、不减产甚至增产的效果。

1.1.2.3 丰富作物抗逆研究理论, 为技术研究提供理论支撑

深入研究豌豆对干旱胁迫的响应机制和复水激发效应、补偿效应, 有利于探索作物自身抗逆特性, 丰富作物抗逆理论, 为建立作物节水栽培技术、调亏灌溉技术 (Regulated Deficit Irrigation, RDI)、旱地农业高产稳产栽培技术提供理论支撑, 有效地提高我国水资源利用率, 发展干旱半干旱农业。同时, 利用豌豆在干旱胁迫条件下外部形态和生理生化指标等变化特征, 为开展豌豆抗旱育种工作提供理论依据。

1.1.2.4 促进豌豆生产发展, 满足市场需求, 增加农民收入

当前, “三农”问题引起全社会的高度重视, 调整种植结构, 增加种植效益是广大农民群众致富的现实途径和迫切需要。抓住当前国内外豌豆市场销售趋旺的有利时机, 开展豌豆高产节水栽培技术研究并尽快应用到生产实践中去, 有利于调动农民发展豌豆生产的积极性, 促进我国豌豆种植面积的增加和产量的提高, 保障国内外市场供应, 增强我国农产品在国际市场的竞争力和影响力, 同时, 也为我国山区和干旱半干旱地区增加农作物产量、发展农产品加工业和外向型农业探索出一条新路径。

1.1.3 研究过程

本项目研究自 2007 年正式开始, 2010 年结束。为顺利完成研究任务, 研究团队在进行责任分工的基础上, 将研究任务分解到各年度, 并采取有效措施, 确保研究任务的圆满完成。

1.1.3.1 各年度任务及完成情况

2007 年主要进行了课题界定、开题论证、起草项目申报书以及收集相关基础资料的工作, 制定了研究方案以及试验管理运行办法等, 编写了《豌豆对水分胁迫的响应及复水补偿效应研究》试验手册; 确定了供试品种、试验地点等, 优选了各项生理生化指标的测定方法; 建立了人工控制

水分试验专用塑料大棚,购置了试验用花盆、化验用药品等设施、设备和消耗材料。同年3~7月,在甘肃农业大学农学教学试验基地、以“银碗一号”为供试品种开展了研究工作,设置了干旱胁迫时期及干旱胁迫强度和历时等处理,测定了冠层形态及相关指标,包括株高、分枝数、叶片数、叶面积、冠层鲜重和干重以及每株有效荚数、每荚粒数、单株产量、百粒重等,测定了根系形态及相关指标,包括土壤含水量、单株根长、主根直径、干物质和R/S、根系吸收面积和活跃吸收面积、总吸收面积、总活跃吸收面积、根系活力以及根系内源激素含量等。

2008年在甘肃农业大学农学院试验基地继续进行了实验研究。积极顺应甘肃省豌豆生产主栽品种的变化,将供试品种改为“青914”。借鉴了2007年的方法,依据国内外最新研究成果,对部分生理生态指标的测定技术进行了必要的修正,丰富了研究内容。主要测定了不同干旱胁迫及复水处理豌豆全株形态指标以及部分生理、生化指标,包括根系活力,根系吸收面积和根系活跃面积,离体叶片保水力,叶绿素含量,内源激素脱落酸(ABA)、吲哚乙酸(IAA)、赤霉素(GA)和玉米素(ZT)含量,叶片超氧化物歧化酶(SOD)、过氧化氢酶(CAT)、过氧化物酶(POD)活性及丙二醛(MDA)含量、质膜相对透性(RC),可溶性蛋白质含量,脯氨酸含量,可溶性糖含量等,并在收获后进行了室内考种。试验结束后,利用EXCEL2003对所测数据进行分类整理,利用SPSS13.0软件对相关数据进行了统计分析。采用Maschinski和Belsky的方法对复水补偿作用(效应)、滞后(延后)效应和激发效应进行了判定,对叶片抗氧化能力进行了综合评价,对不同时期干旱胁迫及复水条件下豌豆籽粒的灌浆过程进行了模拟,完成了干旱胁迫及复水对豌豆植株外部形态的影响,干旱胁迫及复水对豌豆根、冠干物质积累的影响,干旱胁迫及复水对豌豆根、叶部分生理指标及根瘤生长的影响,干旱胁迫及复水对豌豆叶片内源激素含量的影响,干旱胁迫及复水对豌豆保护酶活性及膜脂过氧化的影响,干旱胁迫及复水对豌豆细胞主要溶质积累的影响,苗期和花荚期干旱胁迫对豌豆籽粒灌浆特征及产量的影响等专题研究工作。2008年、2009年,重点组织了研究数据分析、规律追寻及各类论文的撰写工作。共完成博士论文1篇,硕士论文3篇。甘肃农业大学组织国内同行专家对博士、硕士研究生论文进行了评审,结果均为“一致通过”。此外,通过该项目研究,在《中国生态农业学报》《华北农学报》《干旱地区农业研究》《甘肃农业大学学报》等国内核心学术刊物发表论文9篇。