

Seed health in organic peas and faba beans and management approaches to improve pea production in organic rotations



U N I K A S S E L
V E R S I T Ä T
 Organic Agricultural Sciences **U N I K A S S E L**



Department of Ecological Plant Protection



Cuvillier Verlag Göttingen
 Internationaler wissenschaftlicher Fachverlag

Muhammad Farhan Saeed

University of Kassel, Germany

2013



Seed health in organic peas and faba beans and management approaches to improve pea production in organic rotations





Seed health in organic peas and faba beans and management approaches to improve pea production in organic rotations

Dissertation zur
Erlangung des akademischen Grades eines
Doktors der Agrarwissenschaften (Dr. agr.)
im Fachbereich Ökologische Agrarwissenschaften
der Universität Kassel, Deutschland

2013

Vorgelegt von Muhammad Farhan Saeed

Tag der mündlichen Prüfung: 17 Mai, 2013

Die vorliegende Arbeit, eingereicht unter dem Titel "Seed health in organic peas and faba beans and management approaches to improve pea production in organic rotations" wurde vom Fachbereich Agrarwissenschaften der Universität Kassel als Dissertation zur Erlangung des akademischen Grades eines Doktors der Agrarwissenschaften (Dr. agr.) angenommen.

Supervisor:	Prof. Dr. Maria R. Finckh
Co-Supervisor:	Prof. Dr. Jürgen Heß
Examiner:	Prof. Dr. Rainer Georg Jörgensen
Examiner:	Prof. Dr. Oliver Hensel



Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.d-nb.de> abrufbar.

1. Aufl. - Göttingen : Cuvillier, 2013

Zugl.: Kassel, Univ., Diss., 2013

978-3-95404-440-5

© CUVILLIER VERLAG, Göttingen 2013

Nonnenstieg 8, 37075 Göttingen

Telefon: 0551-54724-0

Telefax: 0551-54724-21

www.cuvillier.de

Alle Rechte vorbehalten. Ohne ausdrückliche Genehmigung des Verlages ist es nicht gestattet, das Buch oder Teile daraus auf fotomechanischem Weg (Fotokopie, Mikrokopie) zu vervielfältigen.

1. Auflage, 2013

Gedruckt auf säurefreiem Papier

978-3-95404-440-5



Seed health in organic peas and faba beans and management approaches to improve pea production in organic rotations

Dissertation presented to the
Faculty of Organic Agricultural Sciences,
Department of Ecological Plant Protection
University of Kassel, Germany

2013

Presented by Muhammad Farhan Saeed

Defense date: 17 May, 2013

This work, submitted as “Seed health in organic peas and faba beans and management approaches to improve pea production in organic rotations” has been accepted by the faculty of Organic Agricultural Sciences of the University of Kassel as a thesis for acquiring the academic degree of Doctor of Agricultural Sciences (Dr. agr.).

Supervisor:	Prof. Dr. Maria R. Finckh
Co-Supervisor:	Prof. Dr. Jürgen Heß
Examiner:	Prof. Dr. Rainer Georg Jörgensen
Examiner:	Prof. Dr. Oliver Hensel





Table of contents

Acknowledgements	2
Zusammenfassung	4
Summary	9
Chapter 1	13
Aims and structure of the thesis	13
1.1 Introduction	14
1.2 Objectives	15
1.3 Structure of the thesis	16
1.4 References	17
Chapter 2	21
Literature review	21
2.1 The pea crop and production problems	23
2.1.1 Weeds in organic peas	24
2.1.2 Pea diseases and pests.....	26
2.1.2.1 Soil and seed-borne diseases	26
2.1.2.2 Foliar diseases	28
2.1.2.3 Insect pests.....	31
2.1.3 Effects of poor soil conditions on peas	32
2.2 Management approaches to improve organic pea production	35
2.2.1 Effects of intercropping with cereals on weeds and soil-borne diseases ...	36
2.2.2 Effects of reduced tillage on weeds and diseases	38
2.2.3 Effects of biofumigation on weeds and soil-borne diseases	42
2.3 Concluding remarks	47
2.4 References	48
Chapter 3	65
Seed-health of organic peas and faba beans and its effects on the seed-borne pathogens on the harvested grains	65
3.1 Introduction	66
3.2 Materials and methods	69
3.2.1 Origin and processing of seed samples	69
3.2.2 Seed germination	69
3.2.3 Identification of seed-borne pathogens.....	69
3.2.4 Data processing and analysis.....	72
3.3 Results.....	73
3.3.1 Seed germination	73
3.3.2 Peas	73
3.3.3 Faba beans.....	74
3.4 Discussion	75
3.5 Conclusions	78
3.6 References	79
Chapter 4	97
Effects of intercropping with oats, the use of different biofumigation brassica cover crops and reduced tillage on weed pressure and yield of spring peas and oats and a subsequent winter wheat crop	97
4.1 Introduction	98
4.2 Materials and methods	103
4.2.1 Field site	103



4.2.2 Experimental design	103
4.2.3 Assessments	104
4.2.4 Soil sampling and $N_{\min}$	104
4.2.5 Statistical Analysis	105
4.3 Results	107
4.3.1 Soil nitrogen dynamics over time	107
4.3.2 Plant development and biomass without grain for peas and oats	107
4.3.3 Weeds in peas and oats	108
4.3.4 Final yield	109
4.3.4.1 Grain yield of peas, oats and subsequent wheat	109
4.3.4.2 Yield components	110
4.4 Discussion	112
4.6 Concluding remarks	116
4.7 References	117
Chapter 5	137
Effects of different biofumigant brassica species, reduced tillage, and mixed cropping with oats on pea foot diseases and insect infestation	137
5.1 Introduction	138
5.2 Materials and methods	142
5.2.1 Root disease assessments	142
5.2.2 Root pathogen identification	142
5.2.3 Foliar insect and disease assessments	143
5.2.4 Statistical Analysis	143
5.3 Results	144
5.4 Discussion	146
5.5 Concluding remarks	150
5.6 References	151
Chapter 6	171
General discussion and conclusions	171
6.1 General discussion	172
6.2 Concluding remarks	177
6.3 References	178
7 Appendix of tables	183
A7.1 Chapter 3; Appendix of tables	184
A7.2 Chapter 4; Appendix of tables	185
A7.3 Chapter 5; Appendix of tables	203
A7.4 Chapter 6; Appendix of tables	205
8 Appendix of figures	207
A8.1 Chapter 3; Appendix of figures	208
A8.2 Chapter 4; Appendix of figures	216



List of tables

Table 2.1: Average N ₂ fixation of legumes, estimated with the ¹⁵ N natural abundance and other methods (Data from Werner, 2005).	22
Table 2.2: Ascochyta blight complex and <i>Fusarium</i> spp. Pathogens, plant parts affected, and their persistence.	28
Table 2.3: Overview of the most important foliar diseases of peas ¹	30
Table 3.1: Pathogens affecting peas and/or faba beans, their survival mode and persistence.....	84
Table 3.2: Number of pea and faba beans seed samples and their harvested seed samples that were assessed from 2009 to 2012 for seed-borne ascochyta blight pathogens, Basic: basic seeds for production of certified seeds, Certified: Organic certified seeds, Uncertified: on farm organically produced seeds.	85
Table 3.3: Mean germination percentage of seeds as affected by seed origin.	86
Table 3.4 a: Number of seed and harvest samples of organic peas 2009-2012 infested with <i>A. pisi</i> (Ap), <i>P.medicaginis</i> (Pm), <i>M. pinodes</i> (Mp) and <i>Fusarium</i> spp. (Fus). The numbers of samples with > 10 % infestation are given in parentheses.	87
Table 3.4 b: Number of seed and harvest samples of organic faba beans 2009-2012 infested with <i>A. fabae</i> (Af), <i>P.medicaginis</i> (Pm), and <i>Fusarium</i> spp. (Fus). The number of samples with >10 % infestation are given in parentheses.....	88
Table 3.5: Mean percentage of seeds infected with Ascochyta complex pathogens as affected by seed origin.....	89
Table 3.6: Relationship between environmental variables and seed infestations (Independent variables) on the infestation levels of their harvested seeds (Dependent variable)	90
Table 4.1: Field locations, history and soil conditions for the experiments 2009-2012.	123
Table 4.2: Field treatments and detail information.....	124
Table 4.3: N _{min} ¹ (kg ha ⁻¹) levels in the field at two different depths at different crop developmental stages	125
Table 4.4: Number of germinated ¹ pea and oat plants m ⁻² in 2010 and 2011, respectively.....	126
Table 4.5: Fresh mass (kg ha ⁻¹) production of peas (P) and oats (O) in pure stands and in mixtures in early June and at crop maturity (excluding pods and panicles) as affected by tillage and brassica cover crop ¹	127
Table 4.6: Weed fresh mass (kg ha ⁻¹) in pure stands of peas, oats and in mixtures in early June or at maturity.....	128
Table 4.7 a: Crop yield ¹ (kg ha ⁻¹) at crop maturity when harvested by hand or machine as affected by mixed cropping, tillage and brassica cover crop and the ratio of machine harvest to hand harvest.	129
Table 4.7 b: Yields ¹ of peas and oats and their mixtures when harvested by machine compared to hand harvest.....	130



Table 4.7 c: Relative yields of peas and oats when grown in species mixtures versus pure stands or when grown in a shallow tillage system as compared to a deep tillage system.....	130
Table 4.8: Seed dry matter contents (%) of peas and, oats in pure stands and in mixtures at hand harvest and machine harvest as affected by tillage and brassica cover crop.....	131
Table 5.1: Scoring scheme for pea tissues infection on stems and roots (adapted from Pflughöft, 2008)	157
Table 5.2: Scoring schemes for (a) aphids and (b) pea foliar diseases and insect damage	158
Table 5.3: Mean incidence (%) of foliar diseases and mean severity (%) of foliar diseases.....	159
Table 5.4: Mean incidence (%) of aphids on peas and oats in 2010 and 2011 in pure stands and mixtures with oats.....	161
Table 5.5: Mean percentage of plants showing insect damage (incidence) and mean percentage damage by insects (severity)	162
Table 5.6: Percentage of pea seeds ¹ damaged by pea moth (<i>Cydia nigricana</i>) according to the field treatments	163
Table 6.1 a: Crops yields ¹ and total yields in whole rotation (kg ha ⁻¹) at crop maturity when harvested by machine as affected by mixed cropping, tillage and brassica cover crop.....	182
Table 6.1 b: 2011-12: Interaction effects of crop culture and brassica cover crops on total yields in whole rotation (kg ha ⁻¹) in 2011-12.....	182

List of figures

Figure 2.1: Trends over the period 2000-2010 in the harvested area of pea (A) and bean (B) within Germany (FAOSTAT, 2012).....	23
Figure 2.2: The general structure of glucosinolates and their enzymatic degradation products. Adapted from Rask et al., 2000; Vaughn et al., 2005).....	43
Figure 3.1: Colonies of <i>M. pinodes</i> (A), <i>A. pisi</i> (B) and <i>P. medicaginis</i> (C) on agar media and their spores D = <i>M. pinodes</i> (10-16 µm × 3-4 µm), E = <i>A. pisi</i> (14-18 µm × 3-5 µm) and F = <i>P. medicaginis</i> (4-10 µm × 2-3 µm). (A, B, C and E: Own photos, D and F from J. Bacanovic).....	91
Figure 3.2: Sketch of pycnidial production and arrangements of <i>M. pinodes</i> (A), <i>A. pisi</i> / <i>A. fabae</i> (B) and <i>P. medicaginis</i> (C) on Coon's agar media. (Own drawings).	92
Figure 3.3: Seedling from 14 days old Coon's agar media of farmer seeds infected with <i>A. pisi</i> (A.p), <i>M. pinodes</i> (M.p) and <i>P. medicaginis</i> (P.m). (Own photos). 92	
Figure 3.4: Colonies of <i>Fusarium</i> spp. (A, B) also other fungi including <i>Alternaria</i> spp. (C), <i>Aspergillus</i> spp. (D), <i>Penicillium</i> spp. (E), <i>Rhizopus</i> spp. (F), <i>Rhizoctonia</i> spp. (G), <i>Botrytis</i> spp. (H) on MEA and <i>Sclerotinia</i> spp. (I) & <i>Trichoderma</i> spp. (J) on CA media. (Own photos).....	94
Figure 3.5: Relationship between seed infestation levels with (A) <i>A. pisi</i> , (B) <i>M. pinodes</i> and (C) <i>P. medicaginis</i> and the infestation levels on the harvested	



seeds in peas in a total of 71 samples collected from 20 different farms from 2009 to 2012. Data based on the analysis of 150-400 seeds using Coon's agar media. Origin of the sown seeds is shown: Basic: basic seeds for production of certified seeds, Certified: Organic certified seeds and Uncertified: on farm organically produced seeds.	95
Figure 3.6: Relationship between seed infestation levels with <i>A. fabae</i> in faba bean and infestation levels of the harvested seeds on a total of 48 samples collected from 12 different farms from 2009 to 2012. Data are based on the analysis of 150-400 seeds using the Coon's agar medium Origin of the sown seeds is shown: Basic: basic seeds for production of certified seeds, Certified: Organic certified seeds and Uncertified: on farm organically produced seeds	96
Figure 4.1: Average monthly rainfall and air temperatures during experimental seasons from 2009 to 2012 compared with 30-year average.	132
Figure 4.2: Total crop fresh mass (kg ha ⁻¹) without pods and panicles in pure stands of peas (P) oats (O) and in species mixtures (P+O) at crop maturity as affected by mixing, tillage and biofumigant cover crop in 2011. The three-way interaction between cropping system, tillage and cover crop was significant at P<0.05 (see Table A4.10 for ANOVA). Means separation by Tukey test. Error bars are standard deviation of mean. Columns marked with different letters are statistically significantly different at P<0.05.	133
Figure 4.3: Natural infestation of mustard in the field trial 2011. (A) Pea single crop, (B) oat single crop and (C) mixtures of peas and oats. (Own photos, taken on 31 May 2011).	134
Figure 4.4: Total straw fresh mass (kg ha ⁻¹) as affected by tillage and by cropping system (single versus mixed species: pea (P), oats (O) mixtures (P+O) at machine harvest in 2010, Error bars are standard deviation of mean. Columns marked with different letters are statistically significantly different at P<0.05.	135
Figure 5.1: (A) Infected roots (B, C) External lesion length measured in mm from pea roots and epicotyl, (D) state of plant internal tissue at epicotyl and root by cutting through the lesion.	164
Figure 5.2: Percent disease severity or insect damage per pea plant was estimated according to this scheme adapted from Pflughöft, 2008 (also see table 5.2).	165
Figure 5.3: Pea or oat infestation and damage by <i>Acyrtosiphon pisum</i> (A), <i>Rhopalosiphum padi</i> on oat (B), <i>Sitona lineatus</i> (C) and <i>Liriomyza huidobrensis</i> (D).	166
Figure 5.4: External and internal lesions scores (1 to 9) on pea roots and epicotyls in 2010 (A) and 2011 (B) as percentage of assessed plants per plot. All treatments are shown. B.j= <i>Brassica juncea</i> , R.s= <i>Raphanus sativus</i> , S.a= <i>Sinapis alba</i> cover crops and . P= Single pea, P+O = pea-oat mixed cropping.	167
Figure 5.5: Effect of pea-oat mixed cropping on pea root disease severity in 2010 and 2011. P= Single pea, P+O = Pea and oat mixed. Pea plant samples were taken at BBCH 74 and; BBCH 67 in 2010 and 2011, respectively. Data were normally distributed. Means of treatments within main effects marked by	



different letters are significantly different from one another (Tukey test <0.05). Error bars are standard deviation of means.....	168
Figure 5.6: Interactive effects of three different brassica cover crops and tillage on lesion length on pea roots in 2010. Pea plant sample taken in 2010; BBCH 74, Data were normally distributed. Means of treatments within main effects marked by different letters are significantly different from one another (Tukey test <0.05). Error bars are standard deviation of means.....	168
Figure 5.7: Interactive effects of soil tillage, brassica cover crops and pea-oat mixed cropping on the percentages of identified pea root pathogens in 2010 (A) and 2011 (B). P= Single pea, P+O = Pea and oat mixed.....	169
Figure 5.8 a: Effects of soil tillage on the aphid incidence (see table 5.2) in 2010 and 2011 on peas and oats crops. Means of treatments within main effects marked by different letters are significantly different from one another (Tukey test <0.05). Error bars are standard deviation of means. No aphids were observed on oats in 2010.	170
Figure 5.8 b: Aphid severity (score 1 to 4, see table 5.2) as affected by soil tillage in 2010 and 2011. Percentage of assessed plants per plot are shown . Bars marked with different letters are statistically significantly different (Wilcoxon Mann-Whitney rank sum test, $p = 0.05$).....	170

List of appendix tables

Table A3.1: Ingredients for Malt Extract Agar (MEA).....	184
Table A3.2 a: Relationship between seed infestations (Independent variable) with the seed germination (Dependent variable).....	184
Table A3.2 b: ANOVA and F-values for percentage of seeds infected with Ascochyta complex pathogens as affected by seed origin.....	184
Table A3.3: ANOVA and F-values for germination percentages of seeds as affected by seed origin.....	184
Table A4.1: Overview of field activities from 2009-2012.....	185
Table A4.2: N_{min}^1 ($kg\ ha^{-1}$) at two different soil depths at different crop developmental stages.....	186
Table A4.3: Oat fresh mass ¹ ($kg\ ha^{-1}$) in pure stands of pea (P) oat (O) and in mixtures (P+O) at crop maturity ² as affected by tillage, biofumigant cover crop in 2011.....	187
Table A4.4 a: Crop straw dry mass ($kg\ ha^{-1}$) production of peas (P) and oats (O) in pure stands and in mixtures in early June and at crop maturity (excluding pods and panicles) as affected by tillage and brassica cover crop ¹	188
Table A4.4 b: 2011: Three-way interaction effects of tillage, biofumigant cover crop and crop culture. Total crop dry mass ¹ (without pea pods and oat panicles) ($kg\ ha^{-1}$) in pure stands of pea (P) oat (O) and in mixtures (P+O) at crop maturity ² as affected by tillage, biofumigant cover crop in 2011.....	189
Table A4.4 c: 2011: Interaction effects of crop culture and tillage. Dry mass of oat without panicles ¹ ($kg\ ha^{-1}$) in pure stands (O) and in mixtures (P+O) at crop maturity stage as affected by tillage in 2011.....	189
Table A4.5: Weed dry mass ($kg\ ha^{-1}$) in pure stands of peas (P), oats (O) and in mixtures (P+O) in early June or at maturity.....	190

Table A4.6 a: Crop straw (kg ha^{-1}) production of peas and oats in pure stands and in mixtures at machine harvest as affected by tillage and brassica cover crop ¹ .	191
Table A4.6 b: 2010: Interaction effects of crop culture and tillage. Total straw fresh mass ¹ (kg ha^{-1}) as affected by tillage, pea (P), oats (O) in pure stands and their mixtures (P+O) at machine harvest in 2010.	191
Table A4.6 c: Crop straw dry matter contents (%) of peas (P), oats (O) in pure stands and in mixtures (P+O) at machine harvest as affected by tillage and brassica cover crop. Straw dry matter contents (%) at Machine harvest.	192
Table A4.7: Thousand grain weight ¹ (TGW) (kg ha^{-1}) at machine harvest in pure stands of peas, oats and in mixtures as affected by tillage and brassica cover crop ¹ .	193
Table A4.8: Effects of tillage, brassica cover crop and pre-crop peas (P), oats (O) as pure stands and their mixtures (P+O) on wheat number of ears m^{-2} and thousand grain weight (TGW) yield.	193
Table A4.9: Three way ANOVA and F-values for crop fresh biomass and dry biomass production of plants m^{-2} (kg ha^{-1}) of peas (P) and oats (O) in pure stands and in mixtures (P+O) at crop developmental stage ^{1,2} .	194
Table A4.10: Three way ANOVA and F-values for crop fresh mass and dry mass of plants m^{-2} (kg ha^{-1}) at hand harvest production of peas (P) and oats (O) in pure stands and in mixtures (P+O) at Crop maturity ¹ .	195
Table A4.11: Three way ANOVA and F-values for crop yield data at hand harvest of plants m^{-2} (kg ha^{-1}) of peas and oats and total yield at crop maturity ¹ .	196
Table A4.12: Three way ANOVA and F-values for straw and crop yield ¹ data at machine harvest per plot (kg ha^{-1}).	197
Table A4.13: Three way ANOVA and F-values for thousand grain weight at machine harvest per plot (kg ha^{-1}) of peas and oats.	198
Table A4.14 a: ANOVA and F-values for $N_{\min}$ (kg ha^{-1}) before crop sowing at different field depths.	199
Table A4.14 b: ANOVA and F-values for total $N_{\min}$ before crop sowing (kg ha^{-1}).	199
Table A4.15 a: Three way ANOVA and F-values for $N_{\min}$ (kg ha^{-1}) per plot at different field depths.	200
Table A4.15 b: Three way ANOVA and F-values for $N_{\min}$ (kg ha^{-1}) per plot.	201
Table A4.16: Three way ANOVA and F-values for wheat yield ¹ data at machine harvest per plot (kg ha^{-1}) having pre crop as peas (P) and oats (O) in pure stands and pre crop as mixtures (P+O).	202
Table A5.1: Three way ANOVA and F-values for the measured lesion length on pea epicotyl and roots.	203
Table A5.2: Three way ANOVA and F-values for the foliar diseases ¹ and insect damage ¹ (% incidence).	204
Table A6.1: Three way ANOVA and F-values for total yield in rotation including pea, oat and wheat yields at machine harvest.	205



List of appendix figures

- Figure A3.1: Relationship for *A. pisi* in pea between (A) precipitation two weeks before harvest, (B) total precipitation from sowing to August (Independent variables) on the infestation levels of the harvested seeds (Dependent variable) (for details see table 3.6) in a total of 71 samples collected from 20 different farms from 2009 to 2012. Data based on the analysis of 150-400 seeds using Coon's agar media. Origin of the sown seeds is shown: Basic: basic seeds for production of certified seeds, Certified: Organic certified seeds and Uncertified: on farm organically produced seeds.208
- Figure A3.2: Relationship for *M. pinodes* in pea between (A) precipitation two weeks before harvest, (B) total precipitation from sowing to August (Independent variables) on the infestation levels of the harvested seeds (Dependent variable) (for details see table 3.6) in a total of 71 samples collected from 20 different farms from 2009 to 2012. Data based on the analysis of 150-400 seeds using Coon's agar media. Origin of the sown seeds is shown: Basic: basic seeds for production of certified seeds, Certified: Organic certified seeds and Uncertified: on farm organically produced seeds.209
- Figure A3.3: Relationship for *P. medicagnis* in pea between (A) precipitation two weeks before harvest, (B) total precipitation from sowing to August (Independent variables) on the infestation levels of the harvested seeds (Dependent variable) (for details see table 3.6) in a total of 71 samples collected from 20 different farms from 2009 to 2012. Data based on the analysis of 150-400 seeds using Coon's agar media. Origin of the sown seeds is shown: Basic: basic seeds for production of certified seeds, Certified: Organic certified seeds and Uncertified: on farm organically produced seeds.210
- Figure A3.4: Relationship for *Fusarium* spp. in pea between (A) precipitation two weeks before harvest, (B) Mean temperature from sowing to August (Independent variables) on the infestation levels of the harvested seeds (Dependent variable) (for details see table 3.6) in a total of 71 samples collected from 20 different farms from 2009 to 2012. Data based on the analysis of 150-400 seeds using Coon's agar media. Origin of the sown seeds is shown: Basic: basic seeds for production of certified seeds, Certified: Organic certified seeds and Uncertified: on farm organically produced seeds.211
- Figure A3.5: Relationship for *A. fabae* in faba bean between (A) total precipitation from sowing to August, (B) Mean temperature from sowing to August (Independent variables) on the infestation levels of the harvested seeds (Dependent variable) (for details see table 3.6) in a total of 48 samples collected from 12 different farms from 2009 to 2012. Data based on the analysis of 150-400 seeds using Coon's agar media. Origin of the sown seeds is shown: Basic: basic seeds for production of certified seeds, Certified: Organic certified seeds and Uncertified: on farm organically produced seeds.212
- Figure A3.6: Relationship for *P. medicagnis* in faba bean between (A) total precipitation from sowing to August, (B) Mean temperature from sowing to August (Independent variables) on the infestation levels of the harvested seeds (Dependent variable) (for details see table 3.6) in a total of 48 samples



collected from 12 different farms from 2009 to 2012. Data based on the analysis of 150-400 seeds using Coon's agar media. Origin of the sown seeds is shown: Basic: basic seeds for production of certified seeds, Certified: Organic certified seeds and Uncertified: on farm organically produced seeds.	213
Figure A3.7: Relationship for <i>Fusarium</i> spp. in faba bean between total precipitation from sowing to August (Independent variables) on the infestation levels of the harvested seeds (Dependent variable) (for details see table 3.6), in a total of 48 samples collected from 12 different farms from 2009 to 2012. Data based on the analysis of 150-400 seeds using Coon's agar media. Origin of the sown seeds is shown: Basic: basic seeds for production of certified seeds, Certified: Organic certified seeds and Uncertified: on farm organically produced seeds.	214
Figure A3.8: Relationship between germination rate of the seeds (Dependent variable) and Ascochyta blight complex (sum of <i>A. pisi</i> , <i>M. pinodes</i> , <i>P. medicagnis</i>) infestation levels in pea seeds (Independent variables) (for details see table A3.2a) in a total of 71 samples collected from 20 different farms from 2009 to 2012. Data based on the analysis of 150-400 seeds using Coon's..	214
Figure A3.9: Relationship between germination rate of the seeds (Dependent variable) and Ascochyta blight complex (sum of <i>A. fabae</i> , <i>P. medicagnis</i>) infestation levels in faba bean seeds (Independent variables) (also for detail see table A3.2a) in a total of 71 samples collected from 20 different farms from 2009 to 2012. Data based on the analysis of 150-400 seeds using Coon's agar media.	215
Figure A4.1: Oat yield (kg ha^{-1}) as affected by tillage and by cropping system (single versus mixed species: oats (O) oat in pea-oat mixtures O(P) at machine harvest in 2011, The two-way interaction between cropping system and tillage was significant at $P < 0.05$ (see Table A4.12 for ANOVA). Means separation by Tukey test, Error bars are standard deviation of mean.	216





Dedication

To my family

& to

my beloved brother

Muhammad Irfan Shabir, who always yearned for me as an Agriculturist



Acknowledgements

The work presented in this manuscript was accomplished under the inspiring guidance and dynamic supervision of Prof. Dr. Maria R. Finckh, Department of Ecological Plant Protection, University of Kassel, Germany, who provided me an opportunity to improve my research skills and shared a lot of her expertise & research insights. Her seriousness, excellent guidance and enthusiastic support for my research has helped to develop my professional carrier and her precious intellectual suggestions and criticism during the whole period of my research project contributed a lot to improve the final outcome of this research investigation. Furthermore her continuous encouragement during the tedious work, she support socially, encourage morally, avail technically during my whole span of learning. Her critical comments and useful suggestions during my Ph.D studies were very simulating to focus on my objectives.

I also acknowledge and would like to express my gratitude to Prof. Dr. Jürgen Heß for his kind advices as a second supervisor for my research work. His thoughtful advice often served to give me a sense of direction during my studies. I am deeply indebted and owe a lot to Prof. Dr. Rainer Georg Jörgensen and Prof. Dr. Oliver Hensel for evaluating my dissertation.

Special thanks to the laboratory technicians Evelyn Geithe, Nicole Gaus and Elsa Zwicker at the University for their help during sample analysis. My gratitude also goes to Dr. Christian Bruns and Dr. Andreas F. Butz for their help and advice on statistics and field studies. I would like to thank my colleagues Dr. Tilal S. A. Musa, Dr. M. Qasim, Dr. Anjum Munir, Dr. Sahar Abdallah, Dr. H. Saucke, Jelena Bacanovic, Jan Henrik Schmidt, Britta Schultz, Dagmar Werren, Sarah Brumplow and Thomas Kohlase. I am grateful to all of you and thanks for making things easier during difficult moments. Furthermore I am very grateful to Malik Iftikhar, Shafique, Sadaat Ali, Sami ul Allah, Shoaib ur Rehman, Sadaf, Raja Usman, Adnan Sisic, Saadia, Sabah, Waseem, Asif Raza, G. Fatima, M. Tariq, Martin Wiehle, Naiba to motivate, accompany me in my social life during my stay at the University of Kassel, to finish this piece of work.

I don't have adequate words to express my deepest sense of gratitude to my family members especially my parents, sisters, brothers, friends and fiancée for their patience, eternal affection, support and encouragement during my academic career.



They always supported me throughout my life to achieve the destination of higher education. My thanks and my affections will always be available for them because they are solely responsible, from my infancy to current status. They left me on the way with a desire to see me a highly educated person.

I acknowledge The Federal Ministry of Food, Agriculture and Consumer Protection, Germany (BMELV) to provide funds for the field experiments 2009-2012. I would like to express my thanks to Günter Kellner and Rainer Wedemeyer for excellent field operations of the large-scale experiments and for assistance in field assessments. Many thanks to the great number of students of University of Kassel for helping during crop harvest.

I am deeply grateful to Higher Education Commission (HEC) of Pakistan and to German Academic Exchange Service (DAAD) for financial support during this course of study to accomplish this academic endeavour.



Zusammenfassung

Erbsen (*Pisum sativum* L.) und Ackerbohnen (*Vicia faba* L.) gehören zu den wichtigen Leguminosen, sie sind sehr nahrhaft und von großem Nutzen für die Bodenfruchtbarkeit in Fruchtwechsellsystemen, da sie in der Lage sind Stickstoff (N) zu fixieren. Der Erbsenanbau ist in den vergangenen zehn Jahren jedoch besonders stark zurückgegangen. Erbsen sind schwache Konkurrenten gegenüber Wildkräutern, welche Ertragsverluste von 35-70 % verursachen können. Desweiteren werden Erbsen sowohl durch eine Reihe von samen- und bodenbürtigen Krankheitserregern als auch von Insekten befallen und reagieren sehr empfindlich auf mindere Bodenverhältnisse. Die bekannten Wurzelkrankungen werden hauptsächlich durch den *Ascochyta*-Wurzelfäulekomplex und *Fusarium* spp. ausgelöst. Alle genannten Erreger sind potentiell samenbürtig und können zu deutlichen Ernteeinbußen führen. Sie beeinträchtigen darüber hinaus auch die biologische N-Fixierung und damit den Vorfruchtwert der Erbsen. Die ökologische Landwirtschaft ist auf den erfolgreichen Anbau von Leguminosen für die Stickstofffixierung einerseits und von Erbsen als wertvolles GMO-freies Futter andererseits angewiesen. Es ist deshalb entscheidend, einerseits gesundes Saatgut zu verwenden und andererseits anbautechnische Methoden zu entwickeln, die die Ertragssicherheit im System verbessern.

Mischanbau von Leguminosen und nicht-Leguminosen kann die Ressourceneffizienz durch eine verbesserte Ausnutzung von Nährstoffen steigern. Durch verbesserte Konkurrenz und möglicherweise allelopathische Effekte können Wildkräuter und ggf. Krankheiten unterdrückt werden. Zudem können verminderte Bodenbearbeitung und Fruchtfolgen die Bodengesundheit fördern. Beide Maßnahmen verändern die Biodiversität innerhalb des Agroökosystems und können zur natürlichen biologischen Kontrolle beitragen. Eine weitere, vielversprechende Praxis zur Steigerung natürlicher biologischer Kontrolle ist die Anwendung der Biofumigation. *Brassica*-Arten enthalten hohe Mengen an Glucosinolaten (GSL) und verschiedene chemische Verbindungen, welche nachweislich Krankheitserreger und Wildkräuter durch ihre fungitoxische Wirkung unterdrücken und somit zur Bodenvitalität beitragen können. Für alle drei Praktiken ist die Wirksamkeit mehr oder weniger belegt. Allerdings gibt es keine Studien über die kombinierte Wirkung dieser Praktiken im Erbsenanbau.

Die vorliegende Arbeit wurde in der Zeit von 2009 bis 2012 in Deutschland durchgeführt und besteht aus zwei Teilen: Der erste Teil beschäftigte sich mit dem Auftreten sautgutübertragener Pathogene in ökologischem Saatgut von Erbsen und Ackerbohnen.



In der Folge wurde auch das Erntegut untersucht, um den Zusammenhang zwischen Saatgut und Erntegutbefall zu ermitteln. Im zweiten Teil wurden Feldversuche in Neu-Eichenberg (Universität Kassel) unter Bedingungen des ökologischen Anbaus durchgeführt. Die Versuche befassten sich mit den interaktiven Effekten des Anbaus von Erbsen und Hafer als Mischkultur mit reduzierter Bodenbearbeitung und verschiedenen Biofumigations *Brassica*-Arten im Hinblick auf Verunkrautung, Krankheiten, Insektenbefall und Kornerträge von Erbse, Hafer und der Folgefrucht Winterweizen.

Von 2009 - 2012 wurden Saatgutproben von Erbsen- und Ackerbohnsensamen von bis zu 32 Biobetrieben pro Jahr gesammelt. Die Häufigkeiten von *Ascochyta pisi* oder *A. fabae*, *Mycosphaerella pinodes*, *Phoma medicagines*, *Fusarium* spp. und anderen Pilzen wurde auf den gesäten und geernteten Samen bestimmt. Beim Saatgut zeigte sich ein kritischer Befall von >10 % bei 26 von 71 Erbsen- und 12 von 48 Ackerbohnensamenproben. Insgesamt waren die Befallsraten mittel bis gering da nur sehr wenige Samenproben einen Befall von mehr als 20 % aufwiesen. Der mittlere Prozentsatz des Befalls mit *A. pisi* und *M. pinodes* war bei nicht zertifiziertem Erbsensaatgut signifikant höher im Vergleich zu zertifiziertem und Basissaatgut. Die Zusammenhänge zwischen dem Befall des Saatgutes oder Umweltfaktoren und Befallsraten der geernteten Samen waren für beide Kulturen gering. Die einzige Ausnahme war ein signifikanter Zusammenhang ($R^2=0,53$) zwischen Saatgutbefall von Erbsen mit *A. pisi* und dem Befall im Erntegut. Im Gegensatz zu den Erbsen waren die Korrelationen der drei auf Ackerbohnen getesteten Pathogene (*A. fabae*, *P. medicagines*, *Fusarium* spp.) mit Wetterfaktoren etwas höher aber nicht signifikant. Es gab keinen Zusammenhang zwischen dem Saatgutbefall und der Keimfähigkeit von Erbsen- oder Ackerbohnen.

Die Feldversuche von 2009-2011 (Durchgang 1) und 2010-2012 (Durchgang 2) wurden als Split-Split-Plot-Design mit vier Wiederholungen angelegt. Die *Brassica*-Arten *Sinapis alba*, *Raphanus sativus* und *Brassica juncea*, die sich u.a. durch niedrige, mittlere bzw. hohe Glucosinolatgehalte unterscheiden, wurden jeweils als Zwischenfrucht zwischen August und Oktober angepflanzt und kurz vor der Blüte gemulcht und oberflächlich eingearbeitet. Danach wurden Erbsen und Hafer als Reinbestände und als Artenmischung angebaut. Die Artenmischungen wurden mit der vollen Aussaatrate von Erbsen und 20 % der Aussaatrate von Hafer angelegt. Im Nachbau wurde auf allen Parzellen die Winterweizensorte „Achat“ angebaut. Die Bodenbearbeitung bestand entweder aus konventionellem Tiefpflügen (ca. 25 cm) oder einer flachen und damit verminderten Pflugbehandlung (ca. 8 cm). Gepflügt wurde vor der Aussaat der *Brassica*-



Zwischenfrucht im August, vor der Erbsen-/Haferaussaat im März/April und vor der Winterweizenaussaat im Oktober.

Die Feld- und Klimabedingungen unterschieden sich deutlich zwischen den zwei Versuchsdurchgängen. Die Bodenfruchtbarkeit der Felder war im zweiten Durchgang mit 76 Bodenpunkten (deutsche Klassifizierung) deutlich höher als die des ersten Durchgangs mit 52 Bodenpunkten. Ein ernsthafter Wassermangel während des Winters/Frühjars 2010/2011 im zweiten Durchgang zusammen mit einer ungewöhnlich hohen Verunkrautung führte zu sehr niedrigen Erbsenerträgen in den Reinbeständen. Im Gegensatz dazu fielen die Hafererträge des zweiten Jahres deutlich höher aus als im ersten Jahr, was auf die bessere Bodenqualität und die Fähigkeit des Hafers auf Wasserstress effektiver zu reagieren, zurückzuführen ist. Nach einem zunächst warmen und frostfreien Winter 2011/12 ereignete sich eine plötzliche und schwere, dreiwöchige Forstperiode im Februar 2012 ohne Schneedecke und Temperaturen unter $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$. Dies wiederum beeinflusste das Wachstum des Weizens im zweiten Durchgang deutlich.

Im Jahr 2011 war das Frisch- und Trockengewicht von Wildkräutern in den Erbsen-Reinbeständen 2,5 mal höher als im Jahr 2010. In Erbsen-Reinbeständen betrug die Wildkrautbiomasse $2,5\text{ t ha}^{-1}$ im frühen und $3,9\text{ t ha}^{-1}$ im späten Reifestadium im Jahr 2010, während 2011 $6,1\text{ t ha}^{-1}$ im frühen und $9,5\text{ t ha}^{-1}$ im späten Stadium gemessen wurde. Im Vergleich zu den Erbsen-Reinbeständen wurden die Wildkräuter in den Arten-Mischungen um 50 % reduziert. In Reinbeständen von Hafer wurden Wildkräuter um 70-89 % reduziert.

Die Erbsenkornerträge betrugen im Jahr 2010 $2,3\text{ t ha}^{-1}$ und im Jahr 2011 $2,2\text{ t ha}^{-1}$. Sowohl reduzierte Bodenbearbeitung als auch der Misanbau mit Hafer reduzierte die Erträge. Die Ertragsminderungen durch verminderte Bodenbearbeitung waren 2011 statistisch signifikant (29 %), jedoch nicht im Jahr 2010 (21 %). Misanbau mit Hafer reduzierte den Ertrag der Erbsen um 30 % und 51 % in den beiden aufeinander folgenden Jahren.

Die Hafererträge in Reinbeständen waren $2,5\text{ t ha}^{-1}$ im Jahr 2010 und $4,7\text{ t ha}^{-1}$ im Jahr 2011. In den Artenmischungen betrugen die Hafererträge $1,4\text{ t ha}^{-1}$ und $2,5\text{ t ha}^{-1}$ in den jeweiligen Jahren. Die Kornerträge der Mischungen waren in beiden Jahren statistisch signifikant höher als die Erbsen-Reinerträge. Im Jahr 2010 unterschieden sich die Kornerträge der Artenmischung ($2,6\text{ t ha}^{-1}$) nicht signifikant vom Ertrag des Haferreinbestandes ($2,5\text{ t ha}^{-1}$). Im Gegensatz dazu waren im Jahr 2011 die Erträge der Haferreinbestände deutlich höher als die der Artenmischungen ($P < 0,05$).



Das Frostereignis im Februar 2012 reduzierte das Überleben des Weizens massiv. Während die Anzahl ährentragender Halme im Jahr 2011 387 m^{-2} betrug, waren es 2012 nur 196 m^{-2} . Dennoch waren die Weizenerträge 2012 mit $4,0 \text{ t ha}^{-1}$ sogar höher als 2011 mit $3,5 \text{ t ha}^{-1}$. Dies verdeutlicht die hervorragende Kompensationsfähigkeit der Sorte 'Achat'. Im Jahr 2011 gedieh der Weizen statistisch absicherbar besser nach Erbsen-Rein- als nach Erbsen-Hafer-Mischbeständen. Nach Hafer-Reinbeständen wurden die absicherbar geringsten Erträge gemessen. Im Jahr 2012 wurden indes keine Ertragsunterschiede gefunden. Die verbleibenden N-Mengen nach der Ernte eines jeden Jahres waren durchgängig gering und lagen in Bereichen zwischen 5 und 19 kg N ha^{-1} in 0-60cm. Deutlich höhere N-Mengen wurden nach Erbsenreinbeständen gefunden, während die Artenmischungen und Haferreinbestände sich in beiden Jahren nicht absicherbar unterschieden. Dies deutet darauf hin, dass die insgesamt höheren Weizenerträge im Jahr 2012 aus den besseren Bodenverhältnissen resultierten.

In beiden Jahren waren fast alle untersuchten Erbsenwurzeln und Stängel mit schwarzen Läsionen überzogen, die sich über das erste, untere Blatt und/oder über mehr als 3 cm entlang des Pfahlwurzelgewebes erstreckten. Im Jahr 2011 war der Krankheitsbefall der Erbsenwurzeln mit einer mittleren Läsionslänge von 120 mm fast doppelt so stark als im Jahr 2010 mit 69 mm Läsionslänge. Ungefähr 58 % und 73 % der Erbsenpflanzen hatten in beiden Jahren starke Läsionen (kortikales Gewebe teilweise schwarz, Zentrum und Endodermis noch braun oder gesund) und 26 % im Jahr 2010 und 10 % im Jahr 2011 der Erbsenpflanzen wiesen sehr starke Läsionen auf (komplett schwarze Kortex bis hin zur Abstoßung von Endodermisgewebe). Die längsten Läsionen wurden auf Erbsenwurzeln der flach gepflügten und mit *B. juncea* vorkultivierten Parzellen gefunden, die kürzesten auf tief gepflügten Parzellen mit *S. alba* als Zwischenfrucht. Die häufigsten Wurzelereger waren *P. medicaginis* zusammen mit *M. pinodes* und sehr selten *A. pisi*. In beiden Jahren waren etwa 80 % der Pflanzen mit *P. medicaginis* infiziert. Im Jahr 2011 waren ca 50 % der Pflanzen ebenfalls mit *M. pinodes*, befallen. Im Jahr 2010 waren es weniger als 5 %.

Häufigkeit und Schwere von Blattkrankheiten waren mit $< 4 \text{ %}$ und $< 3 \text{ %}$ gering. Insgesamt konnten keine Auswirkungen der angewendeten Kulturpraktiken auf das Auftreten von Blattkrankheiten festgestellt werden. Im Jahr 2010 verringerte flaches Pflügen den Blattlausbefall auf Erbsen deutlich um rund 23 %, wohingegen auf Hafer kein Blattlausbefall gemessen wurde. Im Jahr 2011 wurden Erbsenblattläuse um 10 % jedoch nicht statistisch absicherbar reduziert. In diesem Jahr betrug der Blattlausbefall auf Hafer 53 % und war in den flach gepflügten Parzellen um 2/3 reduziert. Im