Sektion 6: Herbizidresistenz
Session 6: Herbicide resistance

Populationsdynamik und Resistenzentwicklung von Acker-Fuchsschwanz (*Alopecurus myosuroides*) in Abhängigkeit von der Bodenbearbeitung und der Herbizidbehandlung

Impact of soil tillage and herbicide treatment on population dynamics and resistance development of black-grass (Alopecurus myosuroides)

Klaus Gehring*, Stefan Thyssen, Thomas Festner

Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft, Institut für Pflanzenschutz, Lange Point 10, 85354 Freising-Weihenstephan
*Korrespondierender Autor, klaus.gehring@lfl.bayern.de

DOI 10.5073/jka.2020.464.048

Zusammenfassung

Die Entwicklung von herbizidresistentem Acker-Fuchsschwanz ist ein zunehmendes produktionstechnisches Problem beim Anbau von Wintergetreide. Um den Einfluss der Bodenbearbeitung und der Herbizidbehandlung auf die Resistenzentwicklung und die Populationsdynamik von Acker-Fuchsschwanz zu untersuchen wurde am Standort Pettenbrunn im Landkreis Freising von 2011 bis 2018 ein Dauerversuch durchgeführt. Als Versuchsvarianten wurden vier unterschiedliche Herbizidbehandlungskonzepte unter wendender vs. nicht-wendender Grundbodenbearbeitung verglichen. Es konnten zwischen den Herbizidbehandlungskonzepten signifikante Unterschiede auf die Populationsentwicklung, die chemische Regulierungsfähigkeit von Acker-Fuchsschwanz und das Auftreten von Resistenzen gegenüber Herbiziden aus der Gruppe der ACCase-Inhibitoren nachgewiesen werden. Im Vergleich der Versuchsvarianten zeigte sich der regelmäßige Einsatz von Herbiziden aus der HRAC-Gruppe A unter nicht-wendender Bodenbearbeitung als besonders kritisch für die Regulierungsfähigkeit von Acker-Fuchsschwanz und die Entwicklung von ACCase-Resistenzen.

Stichwörter: ACCase-Inhibitoren, Dauer-Feldversuch, pfluglose Bodenbearbeitung, Wirkortresistenz

Abstract

The development of herbicide-resistant black-grass is an increasing challenge for winter cereal production . To investigate the impact of soil tillage and herbicide treatment on the resistance development and the population dynamics of black-grass, a long-term field trial was carried out at the Pettenbrunn site in the Freising district from 2011 to 2018. Four different herbicide treatment concepts were compared as trial variants under plough tillage vs. reduced soil tillage. Significant differences in population development, chemical weed control of black-grass and the occurrence of resistance to herbicides from the group of ACCase inhibitors could be demonstrated. A comparison of the experimental variants showed that the regular use of herbicides from HRAC group A under reduced soil tillage was particularly critical for the regulatory capacity of black-grass and the development of ACCase resistance.

Keywords: ACCase inhibitors, long-term field trial, reduced soil tillage, target site resistance

Einleitung

Acker-Fuchsschwanz ist das bedeutendste Ungras im Anbau von Wintergetreide. Die Befallsflächen und Besatzintensität haben sich in den vergangenen Jahrzehnten kontinuierlich erhöht. Die Regulierungsfähigkeit von Acker-Fuchsschwanz wird zudem durch die fortlaufende Entwicklung von Herbizidresistenz erschwert. In der Anbaupraxis wird vorwiegend versucht diesen Prozess durch ein angepasstes Herbizidmanagement zu begegnen. In einen langjährigen Feldversuch wurde geprüft, inwieweit die Populations- und Resistenzentwicklung von Acker-Fuchsschwanz durch unterschiedliche Herbizidregime unter wendender und nicht-wendender Bodenbearbeitung kontrolliert werden kann.

Material und Methoden

In einen stationären Dauerversuch in der Nähe von Freising, am Standort Pettenbrunn, wurden die Faktoren Grundbodenbearbeitung und Herbizidanwendung hinsichtlich der Regulierung von Acker-Fuchsschwanz und dem Einfluss auf die Resistenzentwicklung untersucht. Die Grundbodenbearbeitung wurde als dauerhaft wendende bzw. nicht-wendende Bearbeitung in zwei getrennten Versuchsblöcken durchgeführt. Innerhalb dieser Blöcke wurden vier unterschiedliche Herbizidbehandlungskonzepte ohne Wiederholung vorgenommen (Tab. 2). Der Herbizideinsatz in den einzelnen Behandlungsvarianten erfolgte hinsichtlich Präparateauswahl nach dem jeweils verfügbaren Präparatespektrum und mit Vorzug der leistungsfähigsten Produkte (Tab. 1). Der Behandlungsaufwand wurde an die Besatzdichte der jeweiligen Versuchsvariante angepasst. Ziel der geprüften Behandlungsvarianten war eine ausreichend sichere Kontrolle des Acker-Fuchsschwanzes. Die einzelnen Großparzellen (15 x 24 m; 360 m²) wurden dauerhaft ortstreu unter Monokultur Winterweizen in der Versuchsperiode von 2010 bis 2018 in einfacher Wiederholung angelegt. Der Besatz mit Acker-Fuchsschwanz wurde jeweils im Herbst nach dem Auflaufen, im Frühjahr nach Vegetationsbeginn und zum Vegetationshöhepunkt ausgezählt. Die Auszählungen erfolgten in Form von 10 Einzelstichproben auf 0,1 m² in unbehandelten Kontrollflächen und in den Herbizidbehandlungen der jeweiligen Versuchsvarianten. Der Wirkungsgrad der Herbizidbehandlungen wurde durch Vergleich der Acker-Fuchsschwanz Ährendichte in der jeweiligen Behandlung im Vergleich zur unbehandelten Kontrolle ermittelt. Als unbehandelte Kontrollen dienten vier bzw. fünf systematisch innerhalb der Versuchsparzelle verteilte Kontrollflächen in einer Größe von jeweils 4,5 bis 6,0 m². Die Lage der Kontrollflächen wurde von Vegetationsperiode zu Vegetationsperiode systematisch gewechselt. Die Ergebnisse der Auszählungen zur Populationsentwicklung und der Resistenzuntersuchungen wurde mit der Software Unistat unter Anwendung einer Kruskal-Wallis Rangvarianzanalyse auf Signifikanz geprüft (UNISTAT LTD., 2015).

Tab. 1 Im Feldversuch eingesetzte Herbizide.

Tab. 1 *Herbicides used in field trials.*

Herbizid, Handelsname	Aufwand (l bzw. kg ha^{-1})	Wirkstoff (g l^{-1} bzw. kg^{-1})	HRAC-Wirkgruppe
Arelon Top**	1,0 - 3,0	Isoproturon 500	C2
Atlantis OD	1,0	Mesosulfuron 9,7 + Iodosulfuron 1,9	B
Atlantis WG + FHS	0,3 - 0,5	Mesosulfuron 29,2 + Iodosulfuron 5,6	B
Axial 50	0,9 - 1,2	Pinoxaden 50	A
Axial Komplett	1,2	Pinoxaden 45 + Florasulam 5	A, B*
Boxer	3,0	Prosulfocarb 800	N
Broadway + FHS	0,2 - 0,22	Pyroxsulam 68,3 + Florasulam 22,8	B
Caliban Duo	0,33	Propoxycarbazone 159,2 + Iodosulfuron 9,3	B
Carmina 640	3,5	Chlortoluron 600 + Diflufenican 40	C2, F1*
Fenikan**	1,5 - 3,0	Isoproturon 500 + Diflufenican 63	C2, F1*
Herold	0,6	Flufenacet 400 + Diflufenican 200	K3, F1*
Lentipur	2,0	Chlortoluron 700	C2
Lexus** + FHS	0,02	Flupyrsulfuron 463	B
Ralon Super**	1,2	Fenoxaprop-P 63,6	A
Stomp Aqua	2,0 - 4,0	Pendimethalin 455	K1
Sword	0,25	Clodinafop 214	A
Traxos	1,2	Pinoxaden 25 + Clodinafop 22,3	A

Legende: FHS = Formulierungshilfsstoff; *) dikotyl wirksam; **) Zulassung ausgelaufen

Tab. 2 Im Feldversuch geprüfte Behandlungsvarianten.

Tab. 2 *Treatment variants tested in field trials.*

Faktor	Behandlungsvariante
A	Grundbodenbearbeitung:
G	Grubber; nicht-wendend
P	Pflug; wendend
B	Herbizideinsatz:
1	Gute fachliche Praxis; Kombination und regelmäßiger Wechsel der Wirkungsgruppen
2	Übliche Praxis; kosteneffizienter Präparateeinsatz
3	ALS-Hemmer, regelmäßig
4	ACCase-Hemmer, regelmäßig

Neben den Auszählungen der Bestandesdichte von Acker-Fuchsschwanz wurden jährlich Samenproben aus den unbehandelten Kontrollen der einzelnen Versuchsvarianten entnommen. Mit diesen Samenproben wurden Resistenzprüfungen in Form eines topfbasierten Biotests durchgeführt. In den jährlichen Biotesten wurde die Resistenz gegenüber den in der Anbaupraxis eingesetzten Herbiziden aus den HRAC-Gruppen A, B, C2 und K1/3 festgestellt. Die Resistenzuntersuchungen wurden als standardisierte Versuche in der Klimakammer und im Gewächshaus vorgenommen (GEHRING et al., 2018). Die Einstufung der Herbizidresistenz erfolgte in einem fünfstufigen Klassensystem nach CLARKE et al. (1994). Ergänzend zu den Resistenzuntersuchungen im Biotest wurden regelmäßig molekulargenetische Untersuchungen hinsichtlich Wirkortresistenzen im Bereich der bekannten Mutationsstellen für Herbizide aus der Gruppe der ACCase- und ALS-Inhibitoren in Auftrag gegeben (IDENTXX, 2018).

Ergebnisse

Bereits nach der erstmalig unterschiedlichen Grundbodenbearbeitung im Herbst 2010 wurde in der darauffolgenden Vegetationsperiode ein um den Faktor 6 bis 7 höherer Besatz mit Acker-Fuchsschwanz in den Varianten ohne wendende Bodenbearbeitung (G1-4) im Vergleich zur wendenden Bodenbearbeitung in den Varianten P1-4 festgestellt (Tab. 3). Bei nicht-wendender Bodenbearbeitung bewegte sich die Acker-Fuchsschwanz-Bestandesdichte nach dem Auflaufen im Herbst während der gesamten Versuchsperiode, mit Schwankungen, weitgehend auf dem Ausgangsniveau. Bei der Bestandesdichte zum Vegetationshöhepunkt bzw. bei den Auszählungen der Ähren Ende Mai bis Mitte Juni war eine tendenzielle Steigerung um etwa 40 - 60 % gegenüber der Bestandesdichte zum Versuchsbeginn erkennbar. In den Varianten mit wendender Bodenbearbeitung kam es ab der Vegetationsperiode 2012 zu einer erheblichen Steigerung der Bestandesdichte von Acker-Fuchsschwanz, die sich über die Versuchsperiode fortsetzte. Im Mittel über die gesamte Laufzeit des Versuches wurde die Besatzdichte im Herbst um den Faktor 3-4 und zum Vegetationshöhepunkt um den Faktor 5-11 im Vergleich zum Ausgangsbesatz der einzelnen Behandlungsvarianten zu Versuchsbeginn gesteigert. Um den stark unterschiedlichen Ausgangsbesatz zwischen den beiden Bodenbearbeitungsvarianten zu relativieren wurde die Besatzdichte der einzelnen Herbizidbehandlungsvarianten auf den Ausgangsbesatz im Jahr 2011 normiert. Die Analyse der Populationsentwicklung zeigte bei der Bestandesdichte im Herbst einen signifikanten Unterschied zwischen den Varianten G1-3 und den Varianten P2 und P4. Für die Bestandesdichte zum Vegetationshöhepunkt konnte ein signifikanter Unterschied zwischen den Varianten G1-3 und der Variante P4 festgestellt werden (Tab. 3). Im Vergleich wurde die Populationsentwicklung von Acker-Fuchsschwanz wesentlich von der Art der Bodenbearbeitung beeinflusst. Entgegen der Erwartung aufgrund der Erfahrungen aus der Anbaupraxis wurden im Laufe der Versuchsperiode in den Varianten mit wendender Bodenbearbeitung wesentlich höhere Besatzdichten als in den Varianten mit nicht-wendender Bodenbearbeitung beobachtet. Im Vergleich der verschiedenen Herbizidregime führte die dauerhafte Anwendung von ACCase-Inhibitoren in den Varianten G4 und P4 zu tendenziell bzw. signifikant höheren Besatzdichten an Acker-Fuchsschwanz-Ähren zum Vegetationshöhepunkt. Hierbei ist zu berücksichtigen, dass dieses

Behandlungsregime in der Variante G4 im Jahr 2016 abgebrochen werden musste, weil eine ausreichende Regulierung von Acker-Fuchsschwanz mit Herbiziden aus der Gruppe der ACCase-Inhibitoren in dieser Versuchsvariante nicht mehr möglich war.

Tab. 3 Entwicklung der Bestandesdichte von Acker-Fuchsschwanz je nach Bodenbearbeitung und Herbizidbehandlung.

Tab. 3 *Development of density of black grass depending on soil tillage and herbicide treatment.*

Variante	**G1**	**G2**	**G3**	**G4**	**P1**	**P2**	**P3**	**P4**
Jahr	**Bestandesdichte im Herbst nach Bodenbearbeitung (Pfl./m²)**							
2011	705	640	535	655	131	89	126	70
	Bestandesdichte im Herbst (%), normiert auf den Ausgangsbesatz im Jahr 2011							
2011	100	100	100	100	100	100	100	100
2012	88	92	106	101	161	335	178	337
2013	46	110	93	125	166	174	200	384
2014	115	121	118	140	347	353	430	466
2015	91	67	43	111	332	646	279	559
2016	136	178	55	266	334	527	271	296
2017	106	91	111	-	496	522	385	493
2018	43	61	75	-	573	713	385	779
2011-18	91	103	88	141	314	421	278	427
STAT	a	a	a	ab	ab	b	ab	b
Jahr	**Bestandesdichte zum Vegetationshöhepunkt (Ähr./m²)**							
2011	629	583	430	508	89	77	113	43
	Bestandesdichte zum Vegetationshöhepunkt (%),normiert auf die Bestandesdichte in 2011							
2011	100	100	100	100	100	100	100	100
2012	134	129	171	162	408	574	325	867
2013	91	114	145	157	340	281	266	746
2014	179	153	198	183	618	526	580	1012
2015	139	120	131	181	657	909	482	1233
2016	211	204	170	191	618	714	469	1151
2017	171	160	231	-	1084	1052	845	1837
2018	97	114	158	-	1011	1156	752	2035
2011-18	140	137	163	163	605	664	477	1123
STAT	a	a	a	ab	ab	ab	ab	b

STAT = Kruskal-Wallis One-way ANOVA

Bei der chemischen Kontrolle von Acker-Fuchsschwanz traten jahrgangsspezifische Schwankungen innerhalb der einzelnen Behandlungsvarianten, als auch Unterschiede im Vergleich zwischen den Behandlungsvarianten auf. Im Mittel über die Versuchslaufzeit erzielten die Behandlungsvarianten 1-3 sowohl bei wendender (P1-3), als auch bei nicht-wendender Bodenbearbeitung (G1-3) gleichwertige Bekämpfungsleistungen im Bereich von 94 – 95 % Wirkungsgrad. Bei regelmäßigem Einsatz von ACCase-Inhibitoren bei nicht-wendender Bodenbearbeitung (Variante G4), war im Versuchsjahr 2016 mit einem Wirkungsgrad von 31 % keine ausreichende Regulierung von Acker-Fuchsschwanz mehr möglich. Die Behandlungsvariante wurde daher vorzeitig beendet. Unter wendender Bodenbearbeitung fiel die Bekämpfungsleistung bei demselben Behandlungsregime (P4) im letzten Versuchsjahr ebenfalls auf einen völlig unzureichenden Wirkungsgrad von 28 % ab. Im Vergleich der Versuchsvarianten konnte ein signifikanter Unterschied in der Bekämpfungsleistung von Acker-Fuchsschwanz zwischen der regelmäßigen Anwendung von ALS-Inhibitoren unter wendender Bodenbearbeitung (P3) und der regelmäßigen Anwendung von ACCase-Inhibitoren unter nicht-wendender Bodenbearbeitung (G4) nachgewiesen werden.

Tab. 4 Entwicklung der Bekämpfungsleistung gegen Acker-Fuchsschwanz je nach Bodenbearbeitung und Herbizidbehandlung.

Tab. 4 *Development of control performance against black-grass depending on soil cultivation and herbicide treatment.*

Variante	**G1**	**G2**	**G3**	**G4**	**P1**	**P2**	**P3**	**P4**
Jahr	**Bekämpfungsleistung, Wirkung (%)**							
2011	94	97	83	79	83	89	95	93
2012	100	98	96	80	100	99	85	61
2013	96	91	99	93	90	98	99	98
2014	90	98	100	83	98	98	100	99
2015	89	84	100	56	95	96	100	98
2016	94	98	97	31	94	83	99	75
2017	98	98	100	-	99	98	100	84
2018	99	94	80	-	99	94	84	28
2011-18	95	95	94	70	95	94	95	79
STAT	ab	ab	ab	a	ab	ab	b	ab

STAT = Kruskal-Wallis One-way ANOVA

Im Biotest zur Überprüfung der Herbizidresistenz wurde festgestellt, dass in der Ausgangspopulation auf der Versuchsfläche bereits eine niedrige Resistenz gegenüber ACCase-Inhibitoren vorhanden war (Tab. 5). Die Entwicklung der Herbizidresistenz gegenüber ACCase-Inhibitoren (HRAC-Gruppe A) wurde während der Versuchsperiode im Biotest durchgängig gegenüber den Herbiziden Sword® (Clodinafop) und Axial 50® (Pinoxaden) untersucht. In der Betrachtung über alle Versuchsvarianten war kein eindeutiger Trend in der Entwicklung der ACCase-Resistenz erkennbar. Im Mittel pendelte das Niveau der ACCase-Resistenz in den ersten Versuchsjahren bis 2014 auf einer gleichbleibenden Intensität, um in den Jahren 2015 – 2016 deutlich anzusteigen. Nach einem Rückgang der mittleren ACCase-Resistenzgrade in 2017 wurden im letzten Versuchsjahr 2018 die nominal höchsten Resistenzgrade über alle Versuchsvarianten festgestellt. Im Unterschied zu den weiteren Versuchsvarianten trat in der Variante mit regelmäßigem Einsatz von ACCase-Inhibitoren unter nicht-wendender Bodenbearbeitung ab dem Versuchsjahr 2014 ein deutlicher Anstieg der ACCase-Resistenz auf. Im letzten Versuchsjahr 2018 wurde ein maximaler Resistenzgrad von 4,5 erreicht. Das gleiche Herbizidregime zeigte unter wendender Bodenbearbeitung ebenfalls diese Entwicklung, allerdings auf einem deutlich niedrigeren Niveau. Im Vergleich der Art der Bodenbearbeitung lag die ACCase-Resistenz bei nicht-wendender Bodenbearbeitung regelmäßig über den Werten bei wendender Bodenbearbeitung. Signifikant niedrigere ACCase-Resistenzgrade konnten für die Herbizidbehandlung nach guter fachlicher Praxis und dem regelmäßigen Einsatz von ALS-Inhibitoren unter wendender Bodenbearbeitung (Varianten P1 und P3) gegenüber dem regelmäßigen Einsatz von ACCase-Inhibitoren unter nicht wendender Bodenbearbeitung (Variante G4) nachgewiesen werden.

Die Untersuchung der Herbizidresistenz gegenüber ALS-Inhibitoren erfolgte im Biotest durch Wirksamkeitsprüfung mit den Präparaten Atlantis OD® (Mesosulfuron + Iodosulfuron), Attribut® (Propoxycarbazone) und Broadway® (Pyroxsulam + Florasulam). In der Versuchsperiode von 2011 bis 2014 wurde für alle Versuchsvarianten keine ALS-Resistenz im Biotest festgestellt. Ab dem Versuchsjahr 2015 traten niedrige ALS-Resistenzgrade mit Schwankungen zwischen den Versuchsvarianten bis zum Versuchsende in 2018 auf. Es konnten weder tendenzielle noch signifikante Unterschiede in der Entwicklung der ALS-Resistenz zwischen den Herbizid- und Bodenbearbeitungsvarianten festgestellt werden.

Tab. 5 Im Biotest festgestellte Herbizidresistenz gegenüber Herbiziden der HRAC-Gruppe A und B.

Tab. 5 *Herbicide resistance to HRAC Group A and B herbicides identified in the biotest.*

Variante	G1	G2	G3	G4	P1	P2	P3	P4
Jahr	**Resistenzklasse (0-5) gegen HRAC-Gruppe A Herbizide**							
2011	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5
2012	2,0	0,5	1,5	2,5	1,0	0,5	0,5	0,5
2013	1,5	2,0	1,0	1,5	0,0	0,0	0,5	1,0
2014	1,5	1,0	0,5	3,5	0,5	0,5	0,0	1,0
2015	3,5	4,0	3,0	4,0	0,5	2,0	0,5	2,0
2016	2,5	3,5	2,0	4,0	1,5	2,0	1,0	2,5
2017	2,0	2,5	2,0	4,0	0,0	0,5	1,0	2,0
2018	2,5	3,5	2,0	4,5	2,0	2,5	1,0	3,5
2011-18	2,1	2,3	1,7	3,2	0,9	1,2	0,8	1,8
STAT	ab	ab	ab	b	a	ab	a	ab
Jahr	**Resistenzklasse (0-5) gegen HRAC-Gruppe B Herbizide**							
2011	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
2012	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
2013	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
2014	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
2015	0,7	1,0	0,7	1,0	0,3	0,3	0,0	0,0
2016	0,7	0,7	1,3	1,3	0,7	0,3	0,7	1,0
2017	0,0	0,0	0,7	1,0	0,0	0,0	0,0	0,3
2018	0,3	0,7	0,7	1,0	0,7	0,7	0,3	0,7
2011-18	0,2	0,3	0,4	0,5	0,2	0,2	0,1	0,3
STAT	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.

STAT = Kruskal-Wallis One-way ANOVA., n.s.= nicht signifikant

Molekulargenetische Untersuchungen auf Wirkortresistenz wurden zu Versuchsbeginn im Jahr 2011, in der Versuchsperiode in 2013, 2015 und 2017 sowie im abschließenden Versuchsjahr 2018 durchgeführt. Hierbei wurden die für ALS-Resistenz bekannten Genpositionen Pro-197 und Trp-574 sowie die für ACCase-Resistenz bekannten Positionen Ile-1781, Trp-2027, Ile-2041, Asp-2078 und Gly-2096 untersucht. Im Mittel über alle Versuchsvarianten wurden während der Versuchsperiode Mutationen an der Position Asp-2078 mit einer Häufigkeit von 1,4 %, an der Position Ile-1781 mit einer Häufigkeit von 8,6 % und an der Position Gly-2096 mit einer Häufigkeit von 28,9 % detektiert. Die Häufigkeit der ACCase-Wirkortresistenz war in den Varianten mit nicht-wendender Bodenbearbeitung (G1-4) regelmäßig höher als in den Varianten mit wendender Bodenbearbeitung (P1-4). Für die mit geringer Häufigkeit festgestellten Mutationen an den Positionen Asp-2078 und Ile-1781 konnten keine signifikanten Unterschiede zwischen den Versuchsvarianten festgestellt werden. ACCase-Wirkortresistenz durch Mutation an der Position Gly-2096 wurde bereits zu Versuchsbeginn im Jahr 2011 in der Variante G4 mit einer Häufigkeit von 25 % nachgewiesen (Tab. 6). In den folgenden Untersuchungen trat diese Form der Wirkortresistenz mit tendenziell zunehmender Häufigkeit auf. Zum Ende der Versuchslaufzeit, im Jahr 2018, wurden Gly-2096-Mutationen in allen Versuchsvarianten mit unterschiedlicher Häufigkeit festgestellt. In der Versuchsvariante mit regelmäßiger Anwendung von ACCase-Inhibitoren unter nicht-wendender Bodenbearbeitung (Variante G4) trat diese Form der ACCase-Wirkortresistenz signifikant häufiger auf als beim Herbizideinsatz nach guter fachlicher Praxis unter wendender Bodenbearbeitung (P1). An den weiteren untersuchten Genpositionen wurden keine Mutationen festgestellt.

Tab. 6 Wirkortresistenz durch Mutationen an der Position Gly-2096; Häufigkeit (%).

Tab. 6 *Target site resistance by mutations at position Gly-2096; frequency (%).*

Variante	G1	G2	G3	G4	P1	P2	P3	P4
Jahr	**Häufigkeit (%) von Mutationen an der Position Gly-2096**							
2011	0,0	0,0	0,0	25,0	0,0	0,0	0,0	0,0
2013	12,5	37,5	12,5	25,0	0,0	12,5	0,0	12,5
2015	37,5	37,5	0,0	62,5	0,0	12,5	0,0	37,5
2017	25,0	75,0	50,0	87,5	0,0	12,5	25,0	62,5
2018	50,0	87,5	37,5	100,0	12,5	75,0	12,5	75,0
2011-18	25,0	47,5	20,0	60,0	2,5	22,5	7,5	37,5
STAT	ab	ab	ab	b	a	ab	ab	ab

STAT = Kruskal-Wallis One-way ANOVA

Diskussion

Der Langzeitversuch zeigt eine deutlich höhere Resistenzdynamik von Acker-Fuchsschwanz gegenüber ACCase-Inhibitoren im Vergleich zu ALS-Inhibitoren. Die Art der Grundbodenbearbeitung beeinflusste diese Entwicklung in der Form, dass bei nicht-wendender Bodenbearbeitung der Verlust der Kontrollfähigkeit durch ACCase-Inhibitoren frühzeitiger eintrat als bei wendender Bodenbearbeitung. Es handelte sich hierbei aber effektiv nur um einen zeitlichen Verzug von zwei Vegetationsperioden. Die kontinuierliche Anwendung von ALS-Inhibitoren führte im Versuchszeitraum dagegen nur zu einer tendenziellen Erhöhung der Resistenz gegenüber ALS-Inhibitoren auf sehr niedrigem Niveau. Die beiden weiteren Herbizidregime nach guter fachlicher Praxis bzw. nach ortsüblicher Praxis konnten die Bekämpfungsleistung von Acker-Fuchsschwanz aufrechterhalten; eine Differenzierung war nicht erkennbar. Hinsichtlich eines sachgerechten Herbizidmanagements in der Produktionspraxis ist hieraus der Schluss zu ziehen, dass Herbizide aus der Gruppe der ACCase-Inhibitoren mit einer möglichst niedrigen Frequenz eingesetzt und die Möglichkeiten zum Einsatz alternativer Wirkgruppen (z. B. K1, K3, N) und des Wirkmechanismuswechsels so weit wie möglich ausgeschöpft werden sollten (GEHRING et al., 2012). Die Untersuchungsergebnisse zum Auftreten von Wirkortresistenz (TSR) gegenüber ACCase-Inhibitoren bestätigen das Ausbreitungspotenzial über Pollentransfer, wie von PETERSEN et al. (2010) beschrieben. Die unerwartet hohe Populationsdynamik bei wendender Bodenbearbeitung im Vergleich zur nicht-wendender Bodenbearbeitung geben Hinweise auf erweiterte Möglichkeiten eines integrierten Unkrautmanagements zur Vermeidung von Herbizidresistenz (ZWERGER et al., 2017) in der Anbaupraxis.

Literatur

CLARKE, J.H., A.M. BLAIR, S.R. MOSS, 1994: The testing and classification of herbicide resistant *Alopecurus myosuroides* (black-grass). Aspects of Applied Biology **37**, 181-188.

GEHRING, K., R. BALGHEIM, E. MEINLSCHMIDT, C. SCHLEICH-SAIDFAR, 2012: Prinzipien einer Anti-Resistenzstrategie bei der Bekämpfung von *Alopecurus myosuroides* und *Apera spica-venti* aus Sicht des Pflanzenschutzdienstes. Julius-Kühn-Archiv **434**, 89-101.

GEHRING, K., T. FESTNER, S. THYSSEN, 2018: Stand und Entwicklung der Herbizidresistenz bei Acker-Fuchsschwanz (*Alopecurus myosuroides*) in Bayern. Julius-Kühn-Archiv **458**, 113-120.

IDENTXX, 2018: Molekulargenetische Untersuchung zur Wirkortresistenz bei Acker-Fuchsschwanz. Unveröffentlicht.

PETERSEN, J., M. DRESBACH-RUNKEL, J. WAGNER, 2010: A method to determine the pollen-mediated spread of target-site resistance to acetyl-coenzyme A carboxylase inhibitors in black grass *Alopecurus myosuroides*. Journal of Plant Diseases and Protection **117** (3), 122-128.

UNISTAT® LIMITED, 2015: User's Guide, Version 6.5. London, UK, 1244 P.

ZWERGER, P., B. AUGUSTIN, J. BECKER, C. DIETRICH, R. FORSTER, K. GEHRING, R. GERHARDS, B. GEROWITT, M. HUTTENLOCHER, D. KERLEN, G. KLINGENHAGEN, M. LANDSCHREIBER, E. MEINLSCHMIDT, H. NORDMEYER, J. PETERSEN, H. RAFFEL, A. SCHÖNHAMMER, L. ULBER, D. M. WOLBER, 2017: Integriertes Unkrautmanagement zur Vermeidung von Herbizidresistenz. Journal für Kulturpflanzen, **69** (4), 146–149.