

Glyphosat-Resistenz in amerikanische Reihenkulturen und Lehren für die Unkrautbekämpfung in Europa

Glyphosate resistance in American row crops and lessons for weed control in Europe

Harry J. Strek*, Martin Hess & Joachim Kaiser

Bayer CropScience AG, Industriepark Höchst, H872, D-65926 Frankfurt am Main

*Korrespondierender Autor, harry.strek@bayer.com

DOI: 10.5073/jka.2012.434.020

Zusammenfassung

Glyphosat ist das weltweit am häufigsten eingesetzte Herbizid. Es ist seit 1974 auf dem Markt, aber erst mit der Einführung herbizidtoleranter Kulturen in Nord- und Südamerika, die den selektiven Einsatz in Baumwolle, Mais, Raps und Sojabohne über die Vegetationsperiode ermöglichten, ist der Einsatz stark gestiegen. Seit dem ersten Bericht eines Glyphosat-resistenten Unkrautes in einer Reihenkultur im Jahr 2000 sind mehrere resistente Arten im Südosten und Süden der USA weit verbreitet und nehmen jetzt auch im Hauptanbauggebiet für Mais und Soja in mittleren Westen der USA zu. Die Ursachen für diese Entwicklung liegen im häufigen alleinigen Einsatz von Glyphosat, oft niedrigen Aufwandmengen gegen schon größere Unkrautstadien und wenig Wechsel mit anderen Wirkstoffen. Weitere Gründe sind reduzierte Bodenbearbeitung, einseitige Fruchtfolgen und der Mangel an anderen Maßnahmen eines integrierten Unkrautmanagements. In Europa wird Glyphosat in Ackerbaukulturen zunehmend vor der Getreideaussaat eingesetzt. Die Dynamik des Einsatzes von Glyphosat ist in Europa sicher anders als in den USA, die Botschaft ist aber eindeutig, dass kein Herbizid gegen die Entwicklung von Resistenzen immun ist. Es gilt andere ergänzende Maßnahmen in Unkraut-Management-Strategien zu integrieren um den Nutzen der vorhandenen Herbizide langfristig zu erhalten.

Stichwörter: EPSP-Hemmer, Glyphosat, Herbizidresistenz

Summary

Glyphosate is the single most-used herbicide in the world. It has been on the market since 1974, but its use increased rapidly in North and South America with the adoption of the herbicide tolerant traits in crops that made its use possible in canola, cotton, corn and soybean to control weeds during the cropping season. Since the first report of a glyphosate resistant weed in a row crop in 2000, resistance has spread throughout most of the cropping areas of the Southeast and Mid- South regions of the US and is now growing in the Midwest corn-soybean belt. The reason for this development is clear, the use of only glyphosate to control weeds, its application to very large weeds and the use of low rates, coupled with lack of significant tillage and rotation to other herbicides or crops and other integrated weed management strategies have contributed to the situation. In Europe glyphosate is used in cereals to provide a weed-free field to sow the crop. Although the dynamics in Europe are different, the lessons to be learned from the US are that no herbicide system is immune to the development of resistance and care should be taken to integrate other complementary measures into weed management strategies in order to preserve the utility of all current herbicides.

Keywords: EPSP-inhibitor, glyphosate, herbicide resistance

1 Einleitung

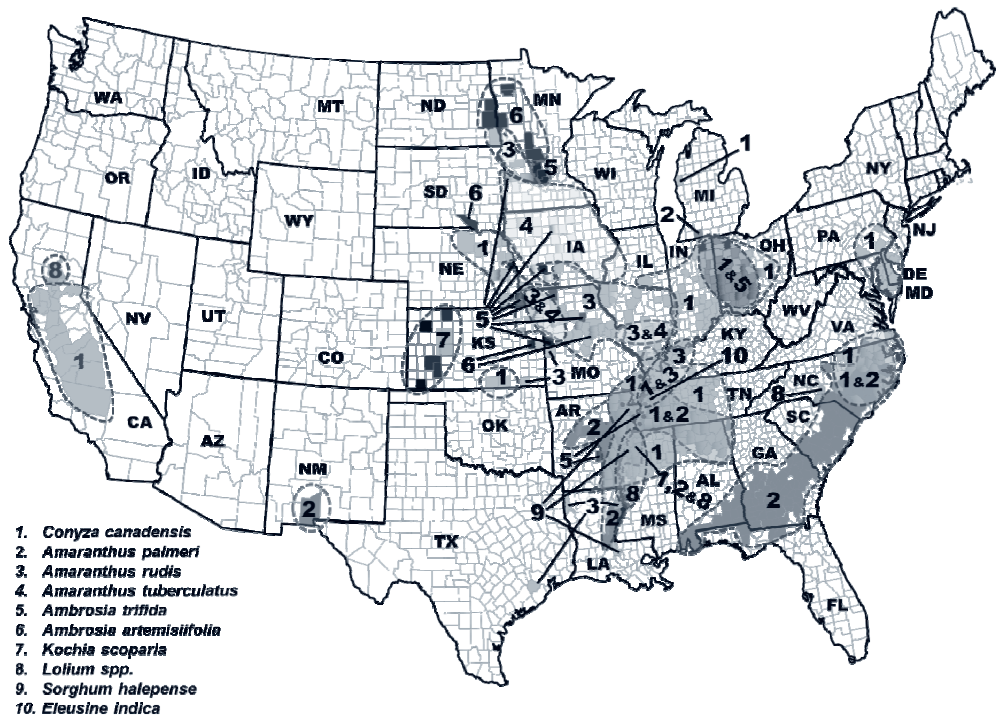
Glyphosat ist das weltweit am häufigsten eingesetzte Herbizid (POWLES, 2008). Glyphosat blockiert die EPSP-Synthase (5-enolpyruvylshikimate-3-phosphate synthase; EC 2.5.1.19) und ist in empfindlichen Pflanzen sehr gut systemisch (POWLES, 2008). Es ist seit 1974 auf dem Markt, aber erst mit der Einführung herbizidtoleranter Kulturen in Nord- und Südamerika, die den selektiven Einsatz in Baumwolle, Mais, Raps und Sojabohne über die Vegetationsperiode ermöglichten, ist der Einsatz stark gestiegen (DUKE und POWLES, 2008). Seit dem ersten Bericht eines Glyphosat-resistenten Unkrautes in einer Reihenkultur in den USA im Jahr 2000 (VANGESSEL, 2001) hat sich die Resistenz im Südosten und Süden der USA weit verbreitet (CULPEPPER et al., 2010). Glyphosat-Resistenzen nehmen jetzt auch im klassischen Mais- und Sojaanbauggebiet im Mittleren Westen der USA zu (TRANDEL et al., 2011). Das Vorkommen multipler Resistenzen, insbesondere bei den *Amaranthus*-Arten *A. powellii* und *A. tuberculatus* stellen die Langfristigkeit der gegenwärtigen Produktionssystem in Frage und verlangen verstärkt nach neuen Herbizid-Optionen oder neuen Unkraut-Management-Strategien

(TRANEL et al., 2010).

2. Vorkommen, Ursachen und Management von Glyphosat-Resistenzen in Reihenkulturen der USA

2.1 Vorkommen von Glyphosat-Resistenzen in Reihenkulturen der USA

Der erste Bericht eines Glyphosat-resistenten Unkrautes war *Lolium rigidum* 1996 in Australien (POWLES et al., 1998; PRATLEY et al., 1999). Wenige Jahre später wurde eine Population von *Conyza canadensis* in einem Sojabohnenfeld in Delaware gefunden, welche zwei Applikationen in der Kultur und eine Behandlung vor Aussaat der Kultur überlebt hatten (VANGESSEL, 2001). Auf dem Feld waren im Vorjahr zum ersten Mal Glyphosat-tolerante Sojabohnen mit den gleichen Herbizidbehandlungen angebaut worden; in den Jahren zuvor war Glyphosat erfolgreich zur Unkrautbekämpfung im Vorsaatverfahren eingesetzt worden. Die Ursachen dieser Resistenzen liegen vermutlich in reduzierter Wirkstoffaufnahme (FENG et al., 2004). Diese resistente Art ist nun über ein weites Gebiet verbreitet (STECKEL et al., 2010) insbesondere über sieben bestimmte Gebiete (Abb. 1).



- 1) Status Dezember 2011. Die tatsächliche Verbreitung im Feld ist wahrscheinlich schon weiter fortgeschritten, da die Untersuchung eines Resistenzfalles von der Beobachtung im Feld bis zur endgültigen Bestätigung durch biologische Versuche zeitaufwändig ist.
- 2) Nur Fälle, die die Resistenzkriterien des International Survey of Herbicide Resistant Weeds (<http://www.weedscience.org/resgroups/Detect%20Resistance.pdf>) wurden im Datensatz akzeptiert.
- 3) Datenquellen umfassen wissenschaftliche Literatur, den International Survey of Herbicide Resistant Weeds (mit einer Bestimmung bis auf Landkreisebene), landwirtschaftliche Literatur, Ergebnisse eigener Untersuchungen, persönliche Mitteilungen.
- 4) Per Landkreis musste die Resistenz auf mindestens einem Feld bestätigt sein.

Abb. 1 Verteilung der Glyphosat-Resistenz in den Vereinigten Staaten.

Fig. 1 Distribution of glyphosate resistant species in the USA.



Abb. 2 *Amaranthus palmeri* in Baumwolle.
Fig. 2 *Amaranthus palmeri* in cotton.



Abb. 3 *Amaranthus palmeri*-Stamm.
Fig. 3 *Amaranthus palmeri* stem.

Von noch größerer Sorge ist die Entwicklung Glyphosat-resistenter *Amaranthus*-Arten wie *A. palmeri* und *A. tuberculatus/A. rudis*. Erstmalig wurde unzureichende Glyphosatwirkung an *A. palmeri* 2004 in Georgia berichtet (CULPEPPER et al., 2006). Auf dem betroffenen Feld wurde seit 1997, dem Jahr der Einführung Glyphosat-toleranter Baumwolle, jedes Jahr Baumwolle kultiviert mit jährlich einer Vorsaapplikation und zwei bis vier Behandlungen in der Kultur, oft mit reduzierten Aufwandmengen (CULPEPPER, 2008). Der Resistenzmechanismus dieser Population basiert wahrscheinlich auf einer Vervielfachung des EPS-Gens (GAINES et al., 2010). Vitales Wachstum, starke Konkurrenzkraft und hohe Samenproduktion verursachen eine schnelle Verbreitung auf einem Feld. Schon wenige Pflanzen stören durch die dicken, verholzenden Stängel die Baumwollernte empfindlich (Abb. 3). Die Zweihäusigkeit erlaubt eine schnelle Verbreitung der Resistenz in empfindliche Populationen durch natürlichen Pollenflug oder auch verschiedene Kulturmaßnahmen (CULPEPPER et al., 2010). Die Verbreitung von *A. tuberculatus* und *A. rudis* im mittleren Westen der USA betrifft jetzt auch die Hauptanbauggebiete für Mais und Sojabohne in den USA (LEGLEITER und BRADLEY, 2008; TRANEL et al., 2010). Die Resistenz gegen Glyphosat an *A. palmeri* und *A. tuberculatus/A. rudis* ist bereits ein ernsthaftes Problem, zudem entwickeln diese Arten zunehmend Resistenzen gegen andere Wirkmechanismen und weisen multiple Resistenzen auf. Eine Untersuchung an Glyphosat-resistenten *A. tuberculatus*-Populationen in Illinois zeigte, dass ein großer Anteil ebenfalls resistent gegen Herbizide war, die die Protoporphyrinogen-oxidase (PPO; EC 1.3.3.4) und die Acetolactat-Synthase (ALS; EC 4.1.3.18) hemmen (TRANEL et al., 2010). Kombinierte Glyphosat- und ALS-Resistenz wurde für *A. palmeri* in Georgie (SOSNOSKIE et al., 2010) und North Carolina (WHITAKER, 2009) bestätigt. Nachdem diese multiple Resistenz bei *A. palmeri* auch in Illinois und Michigan gefunden wurde (HEAP, 2011), muss befürchtet werden, dass sich dieses konkurrenzstarke Unkraut zunehmend an nördlichere Gebiete adaptiert.

Eine weitere ernste Entwicklung ist die Bestätigung eines Glyphosat-resistenten, einjährigen Ungrases *Eleusine indica* (MUELLER et al., 2011). Ein konkreter Resistenzmechanismus konnte für diesen speziellen Biotyp aus den USA noch nicht gefunden werden. Untersuchungen an Glyphosat-resistenter *E. indica* aus Malaysia zeigten eine Mutation (Prolin gegen Serin-Austausch in Position 106) im EPSP (BAERSON et al., 2002). Die weitere Entwicklung von Resistenzen an diesem Ungras ist besonders wichtig zu verfolgen, besonders weil die Bekämpfungsmöglichkeiten durch multiple Resistenzen beschränkt sind. Glyphosat-resistente Populationen von *Sorghum halepense* sind seit 2007 bekannt, zuerst aus Arkansas und dann aus Mississippi und Louisiana (HEAP, 2011). Dennoch scheint sich die Resistenz bei dieser mehrjährigen Art nicht so schnell zu verbreiten wie bei den einjährigen *Amaranthus*-Arten. Der Resistenzmechanismus der Populationen aus Arkansas scheint in höherer Retention in den Blättern und dadurch bedingter reduzierter Translokation zu liegen (RIAR et al., 2011).

In mehreren Unkrautarten sind Glyphosat-resistente Biotypen selektiert worden, die sich zunehmend in den USA verbreiten. Schätzungen gehen von etwa 2,8 bis 4 Millionen ha betroffene Flächen aus (HEAP, 2010). In einer Umfrage mit Landwirten in sechs US-Bundesstaaten (Illinois, Indiana, Iowa, Mississippi, Nebraska und North Carolina) aus dem Jahr 2005, berichteten 12 bis 25 %, dass sie Glyphosat-Resistenzen auf ihren Betrieben hätten (GIVENS et al., 2011). Die Anzahl von Unkrautarten mit Glyphosat-Resistenz nimmt weiter zu. Das Auftreten verschiedener Resistenz-Mechanismen macht deutlich, dass auch dieses Herbizid nicht vor der Selektion resistenter Biotypen geschützt ist und wie wichtig es ist, die Wirkung dieses und aller anderen verfügbaren Herbizide zu erhalten.

2.2 Ursachen für die Entwicklung Glyphosat-resistenter Unkräuter in Reihenkulturen

Die schnelle Verbreitung Glyphosat-toleranter Kulturen und der daraus folgende selektive Einsatz von Glyphosat beruht vor allem auf niedrigeren Kosten und sowohl besserer als auch einfacherer Unkrautbekämpfung (DUKE und POWLES, 2008). Die praktischen Erfahrungen zeigten bald, dass es möglich war, mit ein bis zwei Glyphosat-Applikationen, auch mit reduzierten Aufwandmengen, ein Sojabohnenfeld unkrautfrei zu halten, ohne Unkrautarten und das Stadium der Unkräuter genau beachten zu müssen. Das Ende des Patentschutzes erlaubte zudem eine noch kostengünstigere Unkrautkontrolle mit Glyphosat, trotz der höheren Saatgutkosten für Glyphosat-tolerante Kulturen. Glyphosat wurde dadurch das bevorzugte und meist alleinige Herbizid auf großen Teilen der Soja- und Baumwollflächen in den USA. So wurden 1995, im Jahr vor der Einführung Glyphosat-toleranter Sojabohnensorten, Herbizide aus acht verschiedenen Wirkstoffgruppen in Soja eingesetzt, 2005 war es auf 80 % der Fläche nur noch ein Wirkstoff (PRICE et al., 2011). Die Einführung dieses Produktionssystems war begleitet und verbunden mit einer Reduzierung oder kompletten Wegfall der mechanischen Unkrautbekämpfung vor bzw. nach der Aussaat, mit Kosten- und Zeitersparnis für den Landwirt und gleichzeitigen Nutzen für die Umwelt (DUKE und POWLES, 2008). Reduzierte Aufwandmengen von Glyphosat können in nur wenigen Generationen eine, wenn auch niedrige, Resistenz selektieren (BUSI und POWLES, 2009). Wenn die Praxis reduzierter Aufwandmengen das Überleben auch nur weniger Einzelpflanzen sehr konkurrenzstarker Arten erlaubt, wie bei den *Amaranthus*-Arten mit ihren spezifischen biologischen Eigenschaften, führt dies zur schnellen Entwicklung und Verbreitung von Resistenzen.

Der alleinige und wiederholte Einsatz eines hochwirksamen Herbizides in einer Monokultur, ohne weitere ergänzende Maßnahmen einer integrierten Unkrautbekämpfung, übt einen sehr starken Selektionsdruck auf Unkrautpopulationen aus und wird fast zwangsläufig zu einer Herbizidresistenz führen (POWLES, 2008). Das Verhalten der Landwirte spielt eine wichtige Rolle um Produktionssysteme mit hohem Selektionsdruck auf Herbizidresistenzen zu vermeiden. Eine Umfrage unter amerikanischen Landwirten hat gezeigt, dass diese zwar die Risiken von Monokulturen und dem alleinigen Einsatz von Glyphosat zur Unkrautbekämpfung kennen, ihr Verhalten aber nicht ändern, besonders im Süden der USA (FORESMAN und GLASGOW, 2008; GIVENS et al., 2011). Das Wissen über die hohe Wahrscheinlichkeit eines zukünftigen Problems führt nicht sofort zu Veränderungen im Verhalten und braucht längere Zeit, oft bis die ersten konkreten Resistenzen im Feld sichtbar werden. Dies scheint auch für die spezifische Situation in den USA zu gelten.

2.3 Management von Glyphosat-resistenten Unkräutern in Reihenkulturen in den USA

Die Prinzipien und Strategien um Herbizidresistenzen zu vermeiden oder zu verzögern sind seit Jahren bekannt. Diese umfassen herbizide Wirkstoffwechsel und -kombinationen, vielseitige Fruchtfolge und das Arsenal weiterer Maßnahmen im Rahmen einer integrierten Unkrautbekämpfung (GRESSEL, 1991). Der Empfehlung einer bewusst reduzierten Kontrolle, um den Selektionsdruck zu reduzieren, kann aber im Fall von sehr konkurrenzstarken Unkräutern mit hoher Samenproduktion, wie bei *Amaranthus palmeri*, nicht gefolgt werden. So ist der Einsatz der Handhacke in der Baumwolle zur Bekämpfung überlebender, meist resistenter Unkräuter, zunehmende Praxis (CULPEPPER et al., 2010). Die Autoren empfehlen den Einsatz von Bodenherbiziden um die Nachauflauferbizide zu entlasten. Eine Reduktion der jährlichen Samenzufuhr in den Bodenvorrat ist unverzichtbar für ein nachhaltiges Programm zum Management von Herbizidresistenzen, insbesondere wenn sich erste Anzeichen von Resistenz in einem Feld zeigen

(BECKIE, 2011). Eine aufschlussreiche Erfolgsgeschichte gibt es in Kanada. Der Anbau von Glyphosat-tolerantem Sommerraps (Canola) steht in der Fruchtfolge sowohl mit Weizen und Gerste als auch mit Glufosinat-tolerantem Sommerraps. Dadurch wird eine Monokultur mit Glyphosat-toleranten Kulturarten wie mit Mais, Sojabohne und Baumwolle in den USA vermieden (BECKIE, 2011). Der Einsatz von Glyphosat vor der Aussaat zur Bekämpfung schon aufgelaufener Unkräuter, wird zunehmend kombiniert mit Bodenherbiziden gegen wichtige Arten. Durch diese größere Vielfalt in den Kulturarten und herbiziden Wirkstoffen ist es gelungen, den Selektionsdruck niedrig zu halten. Die Vielfalt der eingesetzten Maßnahmen ist für den langfristigen Erfolg jedweder Herbizidprogramme und Maßnahmen zur Unkrautregulierung von entscheidender Wichtigkeit (POWLES, 2008). Diese umfassen den Einsatz von Herbiziden mit verschiedenen Wirkungsmechanismen im Wechsel und in Kombinationen, mechanische Bekämpfung (wendende Bodenbearbeitung, Mähen, Handhacke, etc.) und alle weiteren biologischen Maßnahmen (Fruchtfolge, Aussattermin, Sortenwahl, Saatstärke).

3. Glyphosat-Resistenzen in Europa

Bisher wurden in Ackerbaukulturen in Europa noch keine Glyphosat-resistenten Unkräuter bestätigt. Die bekannten Fälle, *Conyza canadensis* und *Lolium*-Arten, wurden in Obstanlagen (hauptsächlich Oliven), Weinreben, entlang Gleisanlagen und in Spargel gefunden (Tab. 1). Dies entspricht den wichtigsten Einsatzgebieten in Europa, Baumkulturen und Nicht-Kulturland, da gegenwärtig keine Glyphosat-toleranten Ackerbaukulturen zugelassen sind. Die gegenwärtigen Probleme sind regional eng begrenzt im Vergleich zu der Situation in den ackerbaulichen Reihenkulturen in den USA. Die Kontrolle der Glyphosat-resistenten Unkräuter in den mehrjährigen Obstanlagen ist möglich durch den Einsatz alternativer Herbizide.

4. Lehren für die Unkrautkontrolle in Europa

Die Hauptbotschaft ist, dass kein herbizider Wirkstoff gegen die Selektion und Verbreitung resistenter Biotypen immun ist. Wenn die Unkrautbekämpfung kontinuierlich über Jahre auf großen Gebieten allein auf den Einsatz des immer gleichen Wirkstoffes reduziert wird, muss dies ein Alarmsignal sein. Es gilt weitere ergänzende Maßnahmen in Unkraut-Management-Strategien zu integrieren, nur so kann die Wirksamkeit der vorhandenen Herbizide langfristig erhalten werden.

Tab. 1 Glyphosat-resistente Unkräuter in Europa und Jahr der Bestätigung.

Tab. 1 *Glyphosate resistant weeds in Europe and year confirmed.*

Unkraut	Land	Jahr	Kultur
<i>Conyza bonariensis</i>	Spanien	2004	Obstanlagen
	Portugal	2010	Obstanlagen
	Griechenland	2010	Obstanlagen
<i>C. canadensis</i>	Spanien	2006	Obstanlagen
	Tschechien	2007	Gleisanlagen
<i>C. sumatrensis</i>	Spanien	2009	Obstanlagen
<i>Lolium multiflorum</i>	Spanien	2006	Obstanlagen
<i>L. rigidum</i>	Frankreich	2005	Spargel, Obstanlagen, Rebanlagen
	Spanien	2006	Obstanlagen
	Italien	2007	Obstanlagen, Rebanlagen

Quelle: Heap, 2011: Suchbegriff "G (glycines)", online Zugriff am 23. Dezember 2011 auf <http://www.weedscience.org/Summary/UspeciesMOA.asp?IstMOAID=12&FmHRACGroup=Go>.

Literatur

BAERSON, S.R., D.J. RODRIGUEZ, M. TRAN, Y.M. FENG, N.A. BIEST UND G.M. DILL, 2002: GLYPHOSATE-RESISTANT GOOSEGRASS. IDENTIFICATION OF A MUTATION IN THE TARGET ENZYME 5-ENOLPYRUVYLSHIKIMATE-3-PHOPHSATE SYNTHASE. PLANT PHYSIOLOGY **129**, 1265–1275.

- BECKIE, H.J., 2011: HERBICIDE-RESISTANT WEED MANAGEMENT: FOCUS ON GLYPHOSATE. *PEST MANAGEMENT SCIENCE* **67**, 1037–1048.
- BUSI, R. UND S.B. POWLES, 2009: EVOLUTION OF GLYPHOSATE RESISTANCE IN A *LOLIUM RIGIDUM* POPULATION BY GLYPHOSATE SELECTION AT SUBLETHAL DOSES. *HEREDITY* **103**, 318–325.
- CULPEPPER, A.S., T.L. GREY, W.K. VENCILL, J.M. KICHLER, T.M. WEBSTER, S.M. BROWN, A.C. YORK, J.W. DAVIS UND W.W. HANNA, 2006: GLYPHOSATE-RESISTANT PALMER AMARANTH (*AMARANTHUS PALMERI*) CONFIRMED IN GEORGIA. *WEED SCIENCE* **54**, 620–626.
- CULPEPPER, A.S., 2008: PERSONAL COMMUNICATIONS.
- DUKE, S.O. UND S.B. POWLES, 2008: GLYPHOSATE: A ONCE-IN-A-CENTURY HERBICIDE. *PEST MANAGEMENT SCIENCE* **64**, 319–325.
- FENG, P.C., M. TRAN, T. CHIU, R.D. SAMMONS, G.R. HECK UND C.A. CAJACOB, 2004: INVESTIGATION INTO GLYPHOSATE-RESISTANT HORSEWEED (*CONYZA CANADENSIS*): RETENTION, UPTAKE, TRANSLOCATION, AND METABOLISM. *WEED SCIENCE* **52**, 498–505.
- FORESMAN, C. UND L. GLASGOW, 2008: US GROWER PERCEPTIONS AND EXPERIENCES WITH GLYPHOSATE-RESISTANT WEEDS. *PEST MANAGEMENT SCIENCE* **64**, 388–391.
- HEAP, I., 2010: ZITIERT IN: "FARMERS COPE WITH ROUNDUP-RESISTANT WEEDS". W. NEUMANN UND A. POLLACK, PUBLISHED 03 MAY 2010, NEW YORK TIMES. ONLINE ZUGRIFF AM 23. DEZ. 2011 AUF [HTTP://WWW.NYTIMES.COM/2010/05/04/BUSINESS/ENERGY-ENVIRONMENT/04WEED.HTML](http://www.nytimes.com/2010/05/04/business/energy-environment/04weed.html).
- HEAP, I., 2011: INTERNATIONAL SURVEY OF HERBICIDE RESISTANT WEEDS, ONLINE ZUGRIFF 16.DEZ. 2011 AUF [HTTP://WWW.WEEDSCIENCE.ORG](http://www.weedscience.org).
- GAINES T.A., W. ZHANG, D. WANG, B. BUKUN, S.T. CHISHOLM, D.L. SHANER, S.J. NISSEN, W.L. PATZOLDT, P.J. TRANEL, A.S. CULPEPPER, T.L. GREY, T.M. WEBSTER, W.K. VENCILL, R.D. SAMMONS, J. JIANG, C. PRESTON, J.E. LEACH UND P. WESTRA, 2010: GENE AMPLIFICATION CONFERS GLYPHOSATE RESISTANCE IN *AMARANTHUS PALMERI*. *PROCEEDINGS OF THE NATIONAL ACADEMY OF SCIENCE USA* **107**, 1029–34.
- GIVENS, W.A., D.R. SHAW, M.E. NEWMAN, S.C. WELLER, B.G. YOUNG, R.G. WILSON, M.D.K. OWEN UND D.L. JORDAN, 2010: BENCHMARK STUDY ON GLYPHOSATE-RESISTANT CROPPING SYSTEMS IN THE UNITED STATES. PART 3: GROWER AWARENESS, INFORMATION SOURCES, EXPERIENCES AND MANAGEMENT PRACTICES REGARDING GLYPHOSATE-RESISTANT WEEDS. *PEST MANAGEMENT SCIENCE* **67**, 758–770.
- POWLES, S.B., 2008: EVOLVED GLYPHOSATE-RESISTANT WEEDS AROUND THE WORLD: LESSONS TO BE LEARNED. *PEST MANAGEMENT SCIENCE* **64**, 360–365.
- PRICE, A.J., K.S. BALKCOM, S.A. CULPEPPER, J.A. KELTON, R.L. NICHOLS UND H. SCHOMBERG, 2011: GLYPHOSATE-RESISTANT PALMER AMARANTH: A THREAT TO CONSERVATION TILLAGE. *JOURNAL OF SOIL WATER CONSERVATION* **66**, 265–275.
- RIAR, D.S., J.K. NORSWORTHY, D.B. JOHNSON, R.C. SCOTT UND M. BAGAVATHIANNAN, 2011: GLYPHOSATE RESISTANCE IN A JOHNSONGRASS (*SORGHUM HALEPENSE*) BIOTYPE FROM ARKANSAS. *WEED SCIENCE* **59**, 299–304.
- SOSNOSKIE, L.M., J.M. KICHLER, R.D. WALLACE UND A.S. CULPEPPER, 2011. MULTIPLE RESISTANCE IN PALMER AMARANTH TO GLYPHOSATE AND PYRITHIOPAC CONFIRMED IN GEORGIA. *WEED SCIENCE* **59**, 321–325.
- STECKEL, L.E., C.L. MAIN UND T.C. MUELLER, 2010: GLYPHOSATE-RESISTANT HORSEWEED IN THE UNITED STATES (CHAPTER 10). IN: NANDULA, V.K. (ED.): GLYPHOSATE RESISTANCE IN CROPS AND WEEDS: HISTORY, DEVELOPMENT, AND MANAGEMENT. HOBOKEN, NJ: JOHN WILEY & SONS, INC. PP. 185–193.
- TRANEL, P.J., C.W. RIGGINS, M.S. BELL UND A.G. HAGER, 2011: HERBICIDE RESISTANCES IN *AMARANTHUS TUBERCULATUS*: A CALL FOR NEW OPTIONS. *JOURNAL OF AGRICULTURAL AND FOOD CHEMISTRY* **59**, 5808–5812.
- VANGESSEL, M.J., 2001: GLYPHOSATE-RESISTANT HORSEWEED FROM DELAWARE. *WEED SCIENCE* **49**, 703–705.
- WHITAKER, J.R., 2009: DISTRIBUTION, BIOLOGY, AND MANAGEMENT OF GLYPHOSATE-RESISTANT PALMER AMARANTH IN NORTH CAROLINA [ONLINE]. PHD. THESIS NORTH CAROLINA STATE UNIV., RALEIGH, NC. VERFÜGBAR ONLINE AUF [HTTP://WWW.LIB.NCSU.EDU/THESSES/AVAILABLE/ETD-03272009-143230](http://www.lib.ncsu.edu/theses/available/ETD-03272009-143230). (BESTÄTIGT 25 DEC. 2011).