

KYLEO® - Wirkungsweise unter der Lupe

Kyleo® - mode of action under examination

Dagmar Heibertshausen^{1*}, Manfred Konrad¹ und Tobias Diehl¹

¹Nufarm Deutschland GmbH, Im MediaPark 4e, 50670 Köln

*Korrespondierender Autor, dagmar.heibertshausen@de.nufarm.com



DOI 10.5073/jka.2014.443.076

Zusammenfassung

Kyleo® stellt mit zwei bekannten Wirkstoffen ein innovatives und modernes Herbizid zum aktiven Resistenzmanagement dar. In Kyleo® sind 160 g/L 2,4-D und 240 g/L Glyphosat enthalten. Kyleo® zeigt bei einer Aufwandmenge von 5,0 l/ha eine deutlich bessere und schnellere Wirkung auf Unkräuter wie Ackerschachtelhalm (*Equisetum arvense*) und Ausfallraps (*Brassica napus*) sowie Gemeine Quecke (*Agropyron repens*) gegenüber Tankmischungen aus Produkten, die die Einzelwirkstoffe enthalten, sowie dem Glyphosat-Referenzprodukt (RP; 450g/L SL) 450er Glyphosat (SL). Wie ist das erklärbar? Die Antwort liegt in einer einzigartigen neuen Formulierungstechnologie, die erstmals 2,4-D als Säure und Glyphosat als Monoisopropylamine (MIPA) Salz zusammen mit einem Formulierungshilfsstoff (FHS) kombiniert. Die neue Form von 2,4-D hat lipophile Eigenschaften, d.h. eine bessere Blattaufnahme sowie einen stärkeren photolytischen Abbau in den oberen Bodenschichten gegenüber glyphosathaltigen Produkten. Ferner konnte in Versuchen mit radioaktiv markierten Wirkstoffen die systemischen Eigenschaften beider Wirkstoffe gegenüber dem RP nachgewiesen werden. Die Verlagerung von 2,4-D konnte 48 Stunden nach Behandlung in den Wurzelbereich der Pflanzen gezeigt werden. Eine 98 %-ige Glyphosat-Aufnahme in Raps und Quecke wurde beobachtet, die 10 % (Raps) bzw. 25 % (Quecke) höher lag als beim RP. Diese stärkere Aufnahme der Wirkstoffe zeichnet sich in einer schnelleren Wirkung – stärkere, sichtbare Symptome nach 24 h (Raps) und 96 h (Quecke) – gegenüber dem RP aus. Die Regenfestigkeit von Kyleo® wurde im Gewächshaus (GH) mit Raps getestet. Zur Vergleichbarkeit der Prüfmittel wurde mit einer einheitlichen Glyphosatmenge von 360 g/ha und einem simulierten Niederschlag von 10 l/m² gearbeitet. Bei einer Beregnung 1 hpt konnte eine um 24 % bessere Wirkung im Vergleich zum RP nachgewiesen werden. Wohingegen bei einer Regensimulation nach 6 hpt eine um 4 % bessere Wirkung zu verzeichnen war. In GH-Versuchen mit Weizen (*Triticum aestivum*) und einer identischen Glyphosataufwandmenge von 290 g/ha zeigten sich bei Regensimulation 1 hpt und 6 hpt Wirkungsunterschiede von 23 % und 22 % in Bezug zum RP. Die hier dargestellten Ergebnisse belegen eine systemische Wirkungsweise, eine gute Regenfestigkeit und eine schnelle Wirkung von Kyleo®.

Stichwörter: Nicht selektives, systemisches Herbizid, Glyphosat, 2,4-D, Regenfestigkeit, Wirkstoffaufnahme, Wirkstoffverteilung

Abstract

Kyleo® with two known active substances (ai) is an innovative, modern herbicide for resistance management. Kyleo® contains 160 g/l 2,4-D and 240 g/l glyphosate. With an application rate of 5,0 l/ha, it shows a far better, faster effect on weeds such as field horsetail (*Equisetum arvense*), volunteer oilseed rape (*Brassica napus*) and couch grass (*Agropyron repens*) compared to a tank mix or the reference products (RP). This is explained by an unique new formulation technology that for the first time combines 2,4-D as acid and glyphosate as MIPA salt together with FHS. The new form of 2,4-D is lipophilic with better leaf absorption and greater photolytic degradation in the upper layers of soil. Tests with radioactive marked substances have verified the systemic properties of both ai compared to RP. The displacement of 2,4-D into the plant roots was demonstrated 48 h after application (hpt). 98% glyphosate absorption was observed in rape and couch grass – 10% (rape) respectively 25% (couch grass) greater than with RP. Higher absorption of the ai is characterised by a swifter effect, with stronger, visible symptoms after 24 h in rape and 96 h in couch grass. The rainfastness of Kyleo® was tested in greenhouse (GH) trials with rape. Comparability of the test objects was simulated with a uniform glyphosate quantity of 360 g/ha and 10 l/m² simulated precipitation. 24% improved effect compared to RP was verified for 1 hpt rainfall, while 4% improved effect was recorded for rain simulation after 6 hpt. GH trials with wheat and a comparable glyphosate application quantity of 290 g/ha revealed differences of 23% and 22% compared to RP for rain simulation of 1 hpt and 6 hpt. Kyleo® stands out with a swift effect and better rainfastness. The results presented here prove a systemic mode of action, good rainfastness and swift effect of Kyleo.

Keywords: Non selective, systemic herbicide, glyphosate, 2,4-D, rainfastness, translocation of active ingredient, uptake of active ingredient

Einleitung

In zwei Experimenten wurden die Regenfestigkeit und die Verteilung von Kyleo® untersucht. Das neue Produkt Kyleo® welches 160 g/L 2,4-D und 240 g/L Glyphosat enthält, zeigte in Versuchen bei einer Aufwandmenge von 5,0 l/ha eine deutlich bessere und schnellere Wirkung auf Unkräuter wie Ackerschachtelhalm (*Equisetum arvense*) und Ausfallraps (*Brassica napus*) sowie Gemeiner Quecke (*Agropyron repens*) gegenüber einer Tankmischung der einzelnen Wirkstoffe (ZINK *et al.*, 2012). Mit den im Folgenden beschriebenen Experimenten wurde die Wirkungsweise der neuen Formulierung, die erstmals 2,4-D als Säure und Glyphosat als MIPA-Salz zusammen mit FHS kombiniert, beschrieben. Die neue Form von 2,4-D hat lipophile Eigenschaften, d.h. eine bessere Blattaufnahme sowie einen stärkeren photolytischen Abbau in den oberen Bodenschichten.

Material und Methoden

Versuch zur Verteilung von Kyleo® in Raps und Quecke

Ein Gewächshausversuch an Raps (*Brassica napus*) und Gemeiner Quecke (*Agropyron repens*) wurde durch Plant Protection Chemistry_{NZ} Ltd. (Neuseeland) durchgeführt, um mit radioaktiv markiertem Glyphosat in Kyleo® die Aufnahme und Verteilung zu ermitteln. Die verwendeten Lösungen enthielten < 0,1 % [¹⁴C] markiertes Glyphosat. Die Anzucht der Rapspflanzen (1 Pflanze/Topf; 7 x 7 cm) erfolgte bei 20/15 °C Tag/Nacht-Temperaturen für 4 Wochen bis zum BBCH 14-Stadium. Vor der Applikation wurden die Töpfe bis zur Feldkapazität gewässert und bis zur Ernte im gut gewässerten Stadium belassen. Die Quecke-Pflanzen wurden aus Rhizomen bis BBCH 14 angezogen. Um nur zwei Bestockungstrieb zum Applikationszeitpunkt zu erhalten, wurde wenn notwendig ausgedünnt. Die Applikation erfolgte zwei bis drei Stunden nach Start der Fotoperiode durch Tropfenapplikation (10 x 0,24 µl pro Blatt) in die zentrale, adaxialen Region (ohne Hauptader) der jüngsten frisch ausgebildeten Blätter. Die Aufwandmenge der Lösung entsprach 100 l/ha. Für die quantitative Bestimmung des applizierten radioaktiv markierten Glyphosats wurden 10 Tropfen direkt in kleine Szintillationsampullen gegeben, um Referenzwerte bestimmen zu können. Die Pflanzen wurden 48 Stunden (Raps) und 96 Stunden (Quecke) nach der Behandlung geerntet und in Abschnitten (behandeltes Blatt, jünger als und älter als behandeltes Blatt) untersucht. Phytotoxische Effekte wurden ebenfalls aufgenommen. Der Gehalt des [¹⁴C] Glyphosats wurde als Differenz der ausgebrachten und der abgewaschenen Menge berechnet. Bei den Autoradiographie-Untersuchungen, die mit einer höheren Aufwandmenge durchgeführt wurden (hier: 0,2 µCi in 10(x 0,24 µl) Tropfen), wurde die Applikation der Tropfen bei Quecke in den mittleren-Bereich des Blattes und bei Raps ab Mittelrippe nach außen appliziert und mit einer zweifachen Wiederholung gearbeitet. Für die Verteilung von 2,4-D wurde das Produkt U 46 D-Fluid mit 2,4-D acid-carboxy-¹⁴C (Sigma, specific activity 20,3 mCi/mmol) in Anlehnung an die Glyphosat-Versuche angewendet. Die Pflanzen wurden 48 hpt (Raps) und 96 hpt (Quecke) geerntet und mit einer Zellulose-actetat Behandlung wurden die obersten Wachsschichten entfernt, die die nicht aufgenommenen Herbizidrückstände enthalten. Die ganzen Pflanzen wurden für 7-10 Tage getrocknet und auf dem Röntgenstrahlen -Film (Super RX, Fujifilm) für 15 Tage in die Röntgenstrahlen Kassette (Kodak) bei Raumtemperatur belassen. Mit dieser bildgebenden Methode kann die Wirkstoffaufnahmen und Verteilung in den Pflanzen dargestellt werden.

Versuch zur Regenfestigkeit

Ein Gewächshausversuch mit Winter-Weichweizen (Sorte Cordiale) und Winterraps (Sorte Castille) mit unbehandeltem Saatgut von Walnes Seeds, Farmingham, Suffolk wurde durch Adhams Farm Research Station (UK) durchgeführt. Die Aussaat erfolgte in 7 x 7 x 8 cm 290 ml (Desch Plantpak NL 20030). Das Versuchsdesign war eine randomisierte Blockanlage mit 6 Wiederholungen (6 Weizenpflanzen/Topf und 4 Rapspflanzen/Topf). Die Behandlung erfolgte 15 Tage (Weizen: 12-13

BBCH) und 10 Tage (Raps: 12 BBCH) nach Anzucht mittels Kabinenapplikation mit TeeJet Düsen des Typs: 8005EVS 80° bei einer Geschwindigkeit von 2,4 m/s und 5,0 bar bei einer Applikationshöhe von 0,65 m über Boden und 200 l/ha. Zur Vergleichbarkeit wurden die Prüfmittel mit einer identischen Wirkstoffmenge von 360 g/ha Glyphosat und 290 g/ha Glyphosat bei der Behandlung der Weizenpflanzen bzw. Rapspflanzen verwendet. Die Regensimulation erfolgte mittels AgroChemex mit FullJet 1/8GG 1.5 W 4 Düsen, die 3,5 m über den Töpfen angebracht wurden. Die Testpflanzen wurden mit einer 10 l/m² simulierten Niederschlagsintensität beregnet.

Abkürzungen

MIPA= Mono-isopropylamine

FHS= Formulierungshilfstoff

hpt=Stunden nach Behandlung

GH=Gewächshaus

RP=Referenzprodukt

Cv=Cultivar

® Registrierte Marke der Nufarm Gruppe

Ergebnisse

Versuch zur Verteilung von Kyleo® in Raps und Quecke

Die Aufnahme-Geschwindigkeit und die Verteilung in der Pflanze stellten sich bei Raps 48 hpt bei Kyleo® mit 98,2 % vs. 85,4 % zu 450er Glyphosat (SL) und im Vergleich zur Tankmischung aus Glyphosat und 2,4-D mit 76,1 % und einer Tankmischung mit einem zusätzlichem FHS Surf 2000 mit 83,6 % dar. Die Aufnahme bei Quecke lag für Kyleo bei 97,5 % im Vergleich zu 62,0 % und 60,0 % für die Tankmischungen ohne und mit Surf 2000. Die Verteilung innerhalb der Pflanzen Raps und Quecke zeigen Tabelle 1 und 2, die die Herbizid Verteilungen in den Pflanzen als Prozent radioaktiv markiertes Glyphosat darstellen.

Tab. 1 Effekt der Behandlung auf die Verteilung des [14c] Glyphosats in Raps nach 48 hpt.

Tab. 1 Effect of treatment on distribution of [14C]-glyphosate in OSR at 48 hpt.

Behandlung	Behandlung Blatt	Jüngere Blätter	Ältere Blätter	Wurzeln ¹	Total% Translokation ²
Kyleo®	47,6 ab	6,9 a	6,4 a	37,3 a	50,6 a
450er SL Glyphosat + U 46 D-fluid	36,2 c	5,1 b	4,3 ab	30,5 a	39,9 ab
450er SL Glyphosat + U 46 D-fluid + Surf 2000	52,8 a	3,1 c	3,5 b	24,3 a	30,9 b

Mittelwerte, die die gleiche Buchstabenkennzeichnung aufweisen sind nicht signifikant verschieden (P_{0,05}, LSD test)

¹durch Unterschiede (Referenzmethode) ²aus dem behandelten Blatt.

Tab. 2 Effekt der Behandlung auf die Verteilung des [¹⁴C] Glyphosats in Quecke nach 96 hpt.

Tab. 2 (Effect of treatment on distribution of [¹⁴C]-glyphosate in couch grass at 96 hpt).

Behandlung	Behandl. Blatt	Jüngere Blätter	Ältere Blätter	Wurzeln ¹	Total% Translokation ²
Kyleo®	49,5 a	0,11 a	0,73 a	47,2 b	48,0 b
450er SL Glyphosat + U 46 D-fluid	15,2 b	0,06 ab	0,35 a	46,5 b	46,9 b
450er SL Glyphosat + U 46 D-fluid + Surf 2000	17,2 b	0,01 b	0,86 a	42,0 b	42,8 b

Mittelwerte, die die gleiche Buchstabenkennzeichnung aufweisen sind nicht signifikant verschieden (P_{0,05}, LSD test)

¹durch Unterschiede (Referenzmethode) ²aus dem behandelten Blatt.

Versuch zur Regenfestigkeit

In den Tabellen 3 und 4 sind die Wirkungen des Produktes Kyleo® im Vergleich zu einem handelsüblichen 450er Glyphosat (SL) dargestellt. Die Regenfestigkeit nach Regensimulation von 10 l/m² Niederschlag nach 1 hpt und 6 hpt an Weizen- und Raps-Pflanzen im Gewächshaus im Vergleich zur nicht berechneten Variante sind dargestellt.

Tab. 3 Wirksamkeit der Testprodukte an Weizen nach 10 l/m² Regensimulation als Kennzeichen der Regenfestigkeit.

Tab. 3 (Efficacy of the test products on wheat after 10mm rain simulation as indication of rainfastness).

% Wirkung (Trockengewicht)	Regen 1 hpt	Regen 6 hpt	Kein Regen
Kyleo	69	68	89
450er SL Glyphosat	46	46	63

Tab. 4 Wirksamkeit der Testprodukte an Raps nach 10 l/m² Regensimulation als Kennzeichen der Regenfestigkeit.

Tab. 4 Efficacy of the test products on wheat after 10mm rain simulation as indication of rainfastness.

% Wirkung (Trockengewicht)	Regen 1 hpt	Regen 6 hpt	Kein Regen
Kyleo	99	99	99
450er SL Glyphosat	75	95	97

Diskussion

Versuch zur Verteilung von Kyleo® in Raps und Quecke

Die Glyphosat-Aufnahme in diesem Experiment mit knapp über 75 % nach 48 hpt liegt in dem zu erwartendem Bereich der Aufnahmerate (LIU und ZABKIEWICZ, 1997; LEAPER und HOLLOWAY, 2000). Die häufig in Freilandversuchen zu beobachtende Minderwirkung der Mischung Glyphosat und 2,4-D in Tankmischungen stellte sich hier bei der Mischung von 450er SL Glyphosat mit 2,4-D ebenfalls ein, die erst durch Zugabe eines Adjuvants wieder ausgeglichen wurde. Demgegenüber ist die Aufnahme von 98 % bei Kyleo signifikant besser. Generell ist die Geschwindigkeit der Aufnahme von Glyphosat ein Indiz für die Regenfestigkeit der Formulierung (FENG *et al.*, 2000). Die schnellere Aufnahme des Produktes Kyleo® im Vergleich zu den anderen Testprodukten vermittelt den Eindruck einer besseren Regenfestigkeit, die in dem zweiten Experiment untersucht wurde. Bei der

Verlagerung verhielten sich alle Varianten im gleichen Muster, d.h. ein großer Teil wurde in die Wurzeln verlagert und ein kleiner Anteil wurde akropetal in jüngeres Gewebe verlagert (Tab. 1). Dieses Verteilungsmuster ist für den Wirkstoff Glyphosat zu erwarten (FENG *et al.*, 1999). Die Formulierungsvorteile zeigten sich auch in der stärksten Translokation mit 50 % und einer insgesamt höheren Verteilung in alle untersuchten Pflanzenteile. Die damit verbundenen Wirkungsvorteile zeigten sich in verstärkten phytotoxischen Effekten, die auf die erhöhte Aufnahme zurückzuführen sind. In den Versuchen an Quecke wurde insgesamt eine höhere Aufnahmerate über 60% bei allen Varianten beobachtet, wobei die Variante mit Kyleo bei knapp 100 % nach 96 hpt lag. Wie zuvor bei Raps beschrieben wurden an Quecke ebenfalls die Minderaufnahme /-wirkung durch Zugabe von 2,4-D beobachtet. Die phytotoxischen Effekte waren in diesem Experiment in den Varianten, die 2,4-D enthielten, stärker – insbesondere bei Kyleo®. Die Verteilung innerhalb der Pflanze verlief hier unterschiedlicher, da besonders bei Kyleo® der größte Anteil im behandelten Pflanzengewebe verblieb. Des Weiteren konnte bei Quecke die akropetale Verteilung ebenfalls in einem geringeren Anteil beobachtet werden. Wohingegen der größte Anteil in das Wurzelgewebe verlagert wurde, was bei einem Wurzelunkraut sehr bedeutend ist (Tab. 2). Durch Röntgenstrahlungsversuche konnte die Verlagerung des Wirkstoffs 2,4-D in den Wurzelbereich aus dem behandelten Pflanzengewebe gezeigt werden, die sich in dem Synergismus von beiden Wirkstoffen im Produkt Kyleo® widerspiegelt.

Versuch zur Regenfestigkeit

Die Aufnahme- und Verteilungseigenschaften der Formulierung Kyleo® deuten auf eine bessere Regenfestigkeit hin (FENG *et al.*, 2000). Dies wurde in einem Gewächshausversuch mit Rapspflanzen überprüft. Zur Vergleichbarkeit der Testobjekte wurde mit einer einheitlichen Glyphosatmenge von 360 g/ha (entsprechend 1,5 l/ha Kyleo, bzw. 1,25 l/ha 450er Glyphosat (SL) und 10 l/m² Niederschlag simuliert. Bei einer Beregnung 1 hpt konnte eine um 24 % bessere Wirkung im Vergleich zum 450er Glyphosat (SL) nachgewiesen werden. Wohingegen bei einer Regensimulation nach 6 hpt eine um 4 % bessere Wirkung zu verzeichnen war. In Gewächshausversuchen mit Weizen und einer vergleichbaren Glyphosataufwandmenge von 290 g/ha zeigten sich bei Regensimulation 1 hpt und 6 hpt Wirkungsunterschiede von 23 % und 22 % in Bezug zum 450er Glyphosat (SL). Mit diesem Versuch konnte gezeigt werden, dass Kyleo® sich durch eine schnelle Wirkung und bessere Regenfestigkeit auszeichnet.

Zusammenfassend konnte gezeigt werden, dass die neue Formulierung Kyleo® in den Experimenten die stärkste Aufnahme der Wirkstoffe sowie die effektivste Ausbreitung innerhalb der Pflanzen im Vergleich zu den weiteren Prüfmitteln zeigte. Dies besonderen Eigenschaften führten in Freilandexperimenten bei einer Aufwandmenge von 5,0 l/ha zu einer deutlich besseren und schnelleren Wirkung auf Unkräuter wie Ackerschachtelhalm (*Equisetum arvense*) und Ausfallraps (*Brassica napus*) sowie Quecke (*Agropyron repens*) gegenüber einer Tankmischung oder dem Referenzprodukt (ZINK *et al.* 2012).

Literatur

- FENG ,P.C.C., J.E. PRATLEY und J.A. BOHN, 1999: Resistance to glyphosate in *Lolium rigidum*. II. Uptake, translocation, and metabolism, *Weed Science* **47**, 412-415.
- FENG ,P.C.C., J.J. SANDBRINK und R.D. SAMMONS, 2000: Retention, uptake, and translocation of ¹⁴C-glyphosate from track-spray Applications and correlation to rainfastness in velvetleaf (*Abutilon theophrasti*). *Weed Technology* **14**, 127-132.
- LIU, ZQ, und J.A. ZABKIEWICZ , 1997: Cuticular uptake of glyphosate into wheat with organosilicone surfactant.
- NLEAPER C. und P.J. HOLLOWAY, 2000: Adjuvants and glyphosate activity., *Pest Management Science* **56**, 313-319.
- ZINK J., T. DIEHL, G. DUCHAMP, E. GIBERT, M. KONRADT, H. STADLER und H. VALENSUELA, 2012: Kyleo® - Ein neues Breitbandherbizid für den Einsatz auf der Stoppel. *Julius-Kühn-Archiv* **434**, 514-519.