

PRÄPARATE, BODENMIKROBIOM, PFLANZE

*Beeinflussen biodynamische Spritzpräparate das potenziell
pflanzenwachstumsfördernde Mikrobiom im Boden?*



AUTORENTEAM:

DR. JÜRGEN FRITZ (FOTO), DR. HEBERTO RODAS-GAITAN,
DR. GEORG MEISSNER, VINCENT MASSON, MEIKE OLTMANN,
DR. YVETTE WOHLFAHRT, PROF. DR. MIRIAM ATHMANN
j.fritz@uni-kassel.de



Eine Steigerung des Mikrobioms im Boden, die das Pflanzenwachstum fördert, ist landwirtschaftlich von großem Interesse. So gibt es Bakterien und Pilze, die bei Wachstumsstress, z. B. durch Trockenheit oder Nässe, die Resilienz der Pflanzen verbessern. Im Beitrag wird festgestellt, dass die biodynamischen Spritzpräparate den Anteil von Bakterien und Pilzen im Boden steigern, die das Pflanzenwachstum potenziell fördern können.

Bedeutung des Mikrobioms

Das Mikrobiom im Boden mit seinen Bakterien und Pilzen, kann seit einigen Jahren anhand seiner Gen-Sequenzen genauer untersucht werden. So wurden bei der Analyse von 5 bis 10 g Boden aus unseren Bodenproben ca. 1000 Bakterien- und 900 Pilzstämmen mit ihren prozentualen Anteilen in der Probe bestimmt. Pflanzenbaulich interessant ist besonders die Gruppe der potenziell „Pflanzenwachstum fördernden Mikroorganismen“ (englisch „plant growth promoting microorganisms“ PGPM). Zu dieser Gruppe gehören zum Beispiel Bakterien und Pilze, welche die wachstumsfördernden Pflanzenhormone Auxin, Cytokinin und Gibberellin produzieren können. Andere Bakterien und Pilze produzieren Stoffe, die Pflanzen bei Wachstumsstress, etwa durch Hitze, Trockenheit oder Nässe, unterstützen. Die Stressresilienz der Pflanzen kann durch diese Mikroorganismen verbessert werden. So bilden Bakterien und Pilzen zum Beispiel EPS (Exopolysaccharide). Das sind Polymere, die im Boden die Bildung einer stabilen Krümelstruktur befördern und Pflanzenwurzeln durch einen Biofilm vor Trockenstress schützen.

Ergebnisse von Ortiz-Alvarez et al. (2021), Radha & Rao (2014), Spaccini et al. (2012) und Giannattasio et al. (2013) legen nahe, dass die biodynamischen Spritzpräparate eine Wirkung auf das Mikrobiom im Boden haben. In den vorliegenden Versuchen wird die Hypothese geprüft, ob die biodynamischen Spritzpräparate den Anteil der Bakterien und Pilze im Boden steigern, die das Pflanzenwachstum potenziell fördern können. Die Forschungsfrage ist: Wird durch die Anwendung der biologisch-dynamischen Spritzpräparate der Boden mit potenziell Pflanzenwachstum fördernden Mikroorganismen inokuliert (beimpft)?

Material und Methode

Proben des Hornmistpräparates 500 wurden von den Herstellungsstandorten Darmstadt, Cluny (Frankreich), Bad Vilbel und Zülpich genommen. Proben des Hornmistpräparates 500P (Hornmist mit Kompostpräparaten) wurden aus der Herkunft Cluny untersucht. Vom Hornkieselpräparat wurden Proben aus Darmstadt, Cluny, Bad Vilbel und Velden untersucht (siehe Tabelle 1). In vier unterschiedlichen Freilandversuchen wurden Bodenproben (13 cm Tiefe) genommen:

1. einem Langzeitversuch in Frankenhausen (Versuchsbetrieb der Universität Kassel) mit Getreide, aus vier verschiedenen Fruchtfolgen mit 4 Wiederholungen jeweils ohne und mit Präparateanwendung (4 x Hornmist + 2 x Hornkiesel; 16 Paarvergleiche);
2. einem Langzeitversuch mit Wein der Hochschule Geisenheim University mit 4 Wiederholungen jeweils ohne und mit Präparateanwendung (3 x Hornmist + 3 x Hornkiesel; 4 Paarvergleiche);
3. einem Feldversuch in Darmstadt, angelegt vom Forschungsring und der Universität Bonn, mit Getreide mit 4 verschiedenen Vorfrüchten mit 4 Wiederholungen (Intensivierungsversuch: jeweils 3x Hornmist und Hornkiesel gegenüber 1x Hornmist und Hornkiesel; 16 Paarvergleiche);
4. von 21 Praxisstandorten verteilt über ganz Frankreich jeweils mit und ohne die biologisch-dynamischen Spritzpräparate (ein- bis mehrmalige Anwendung von Hornmist und Hornkiesel, mit einer Spannbreite verschiedener Bodenarten und -typen sowie verschiedenen Ackerfruchtfolgen oder Weinbau).

Zusätzlich wurden an zwei Standorten (Langzeitversuch in Frankenhausen mit Getreide, sowie drei Praxisstandorte in Frankreich mit Weinreben) Zeitreihen erstellt, mit jeweils sieben Probenahmen im Abstand von zwei Wochen während der Vegetationszeit.

Alle Proben wurden zur DNA-Extraktion und Analyse an das Biome Makers-Labor in Valladolid, Spanien, geschickt. Die Auswertung der Präparateproben wurde in Prozentanteilen der Mikrobiomgruppen der Pflanzenwachstum fördernden Mikroorganismen dargestellt. Für die Auswertung der Bodenproben wurde von dem Labor ein so genannter „BeCrop Index“ angegeben, der ein Maß ist für die Abundanz (Anzahl) von Mikroorganismen, die potenziell eine Funktion wie zum Beispiel Gibberellin- oder Cytokininproduktion übernehmen können (mehr Informationen zu Material und Methoden siehe Milke et al. 2024).

TAB 1: POTENZIELL WACHSTUMSFÖRDERNDE MIKROORGANISMEN IN BIODYNAMISCHEN PRÄPARATEN

		Hormone			Stress adaptation							
		Auxin	Cytokinin	Gibberellin	Abscisinsäure (ABA)	Ethylen Hemmung (ACC)	Exopolysaccharide (EPS)	Schwermetallentgiftung	Salicylsäure (SA)	Salz-Toleranz	Siderophore	
Darmstadt	500	1.51	0.35	0.55	0.05	0.54	0.21	0.11	0.00	0.64	0.24	<i>Prozentualer Anteil von Bakterien und Pilzen, die nach den BeCrop-Datenbanken potenziell pflanzenwachstumsfördernde Funktionen haben. Die unterschiedlichen Herstellungsorte der Präparate sind mit den Namen der Orte gekennzeichnet. Tabelle verändert nach Milke et al. (2024)</i>
Cluny 1	500	4.31	2.79	2.13	0.02	3.25	0.97	0.33	0.00	2.22	1.99	
Cluny 2	500	4.80	2.99	2.15	0.02	4.04	1.21	0.33	0.00	2.36	2.12	
Cluny 1	500P	6.02	4.93	3.66	0.02	5.42	1.24	0.62	0.00	4.07	3.82	
Cluny 2	500P	5.08	3.01	2.12	0.03	3.47	1.20	0.39	0.01	2.19	1.87	
Bad Vilbel	500	1.74	1.06	0.90	0.01	0.91	1.28	0.27	0.00	0.94	0.49	
Bad Vilbel	500	2.41	1.70	3.03	0.19	1.56	0.40	0.14	0.01	1.13	0.98	
Zülpich 1	500	5.08	1.30	0.61	0.03	1.31	1.36	0.92	0.00	1.02	1.51	
Zülpich 2	500	2.03	1.38	3.01	0.18	1.41	0.64	0.06	0.01	0.92	0.47	
Darmstadt	501	10.18	5.21	4.37	0.23	4.94	1.14	0.99	0.38	4.92	3.39	
Cluny 1	501	10.19	3.94	3.70	0.02	5.51	2.01	1.68	0.96	3.79	3.88	
Cluny 2	501	8.00	5.87	5.64	0.02	6.24	0.50	0.40	0.23	5.69	5.66	
Bad Vilbel	501	16.69	11.19	8.09	1.10	11.37	8.50	6.00	0.63	10.23	6.21	
Velden	501	47.17	12.13	7.86	0.90	8.97	11.31	6.84	0.74	20.22	6.59	

500: Hornmist; 500P: Hornmist mit Kompostpräparaten; 501: Hornkiesel

Ergebnisse und Diskussion

Zunächst wurde geprüft, ob sich potenziell Pflanzenwachstum fördernde Mikroorganismen in den Spritzpräparaten anreichern (Versuchsfrage 1 in Tabelle 2). Hohe PGPM-Anteile am gesamten sequenzierten Mikrobiom wurden in neun verschiedenen Hornmist- und fünf verschiedenen Hornkieselpreparaten gemessen, und zwar für die Bildung der Pflanzenhormone Auxin, Cytokinin, und Gibberellin, sowie die Stressadaptionsmechanismen Ethylenhemmung, Bildung von Exopolysacchariden, Schwermetallentgiftung, Salztoleranz und Freisetzung eisenbindender Siderophore (Tabelle 1). Bei den Mikroorganismen, die potenziell Abscisinsäure und Salicylsäure bilden, war keine Anreicherung festzustellen, mit fast durchgehend deutlich niedrigeren Anteilen als 1 % (siehe gelbe Pfeile in Tabelle 1).

Die zweite Versuchsfrage (Tabelle 2) war, ob die hohen Gehalte an potenziell Pflanzenwachstum fördernden Mikroorganismen in Hornmist und Hornkiesel nach der Ausbringung der Präparate den Anteil dieser Mikroorganismen im Boden erhöhten. Im Versuch mit Getreide in Frankenhausen war der Anteil der PGPM im Boden mit der Anwendung von Hornmist und Hornkiesel bei allen drei Gruppen potenziell hormonbildender Mikroorganismen signifikant erhöht, ebenso bei allen fünf Gruppen Stressadaptation vermittelnder PGPM, die auch schon in den Spritzpräparaten angereichert waren (Abbildung 1). Ein ähnliches Bild ergab sich für die 21 Praxisstandorte in Frankreich.

Ausgehend von der Frage aus der Praxis, ob eine häufigere Anwendung der Präparate gegenüber der Demeter-Basisanwendung den Effekt der Präparate verstärkt, wurde bei dem Versuch in Darmstadt eine einmalige Anwendung von Hornmist und Hornkiesel mit einer dreimaligen Anwendung beider Präparate verglichen. Tatsächlich führte die Intensivierung der Anwendung bei zwei Gruppen potenziell hormonbildender Mikroorganismen und fünf Gruppen potenziell Stressadaptation vermittelnder Mikroorganismen zu signifikant höheren Anteilen der PGPM am gesamten sequenzierten Mikrobiom (Abbildung 1).

Allein bei dem Versuch in Geisenheim zeigten sich keine signifikanten Unterschiede. Auffällig ist hier, dass bei allen zehn Mikrobiomgruppen die Anwendung der biodynamischen Spritzpräparate sogar zu tendenziell geringeren Anteilen an PGPM im Boden geführt hat. Anders als in den meisten Systemvergleichsversuchen sind die beiden hier untersuchten ökologischen Varianten infolge einer leguminosenreichen, gut entwickelten Begrünung besser mit Stickstoff versorgt als die integrierte Vergleichsvariante (Meissner et al. 2019): Möglicherweise bewirkte die hohe N-Versorgung hier weniger ausgeprägte Interaktionen zwischen Pflanzen und Mikroorganismen. Allerdings ist auch der Standort Frankenhausen durch eine hohe N-Nachlieferung gekennzeichnet. Möglicherweise hat auch der Faktor Wasser einen Einfluss, der im Jahr 2021 nicht limitierend war für das Wachstum. Es besteht weiterer Forschungsbedarf dahingehend, unter welchen Bedingungen die PGPM-Anreicherung in den Spritzpräparaten auch zu einer Anreicherung in den behandelten Böden führt.

Die dritte Versuchsfrage (Tabelle 2) war, ob die Struktur der Funktionsgruppen der potenziell Pflanzenwachstum fördernden Mikroorganismen in den biodynamischen Präparaten mit jener in den behandelten Böden übereinstimmt. Die Daten zeigen, dass genau die beiden PGPM-Gruppen, die in den Präparaten nicht angereichert sind (Bildner von Salicylsäure und Abscisinsäure), auch in den behandelten Böden in keinem der vier Versuche signifikant durch die Präparateanwendung gesteigert wurden (Tabelle 1 gelbe Pfeile).

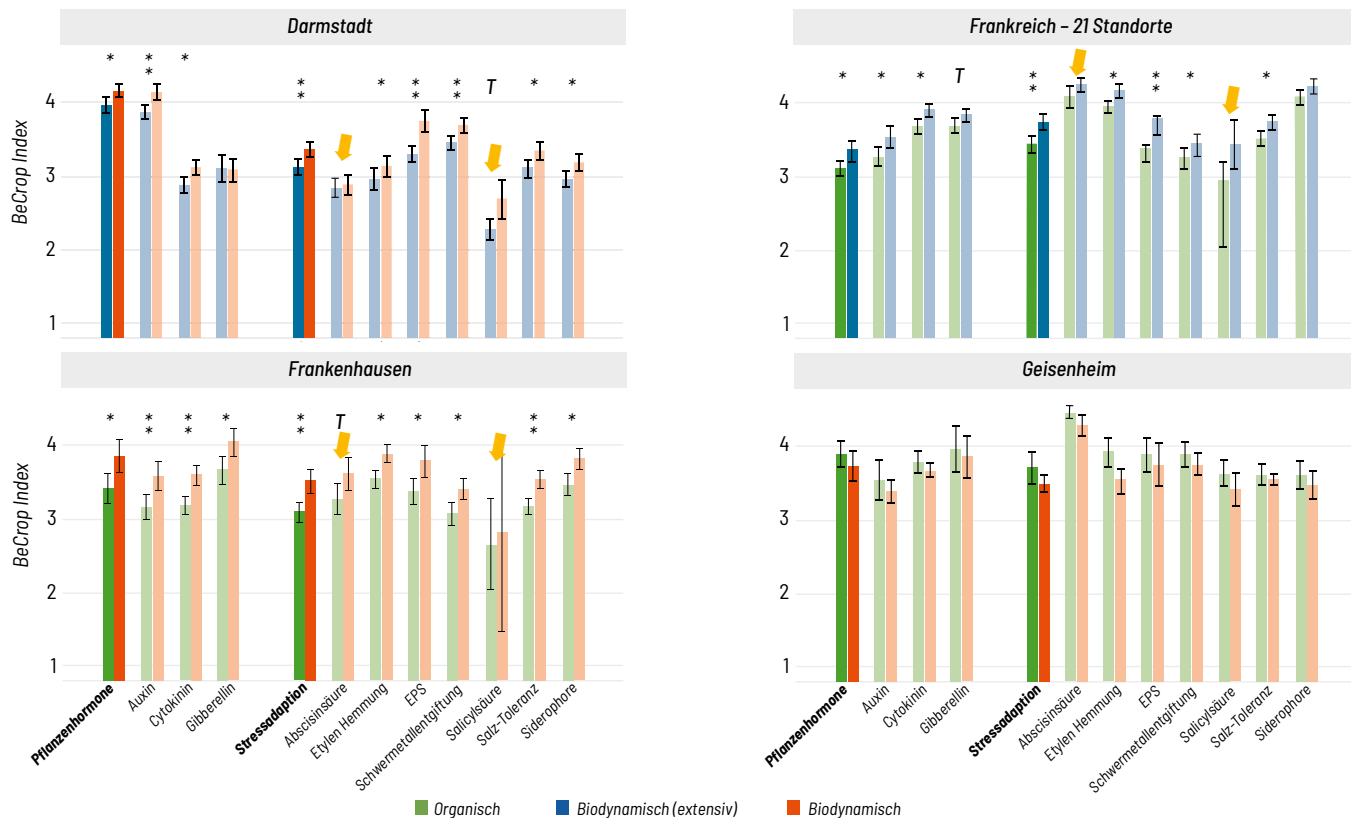
Ein typisches Kennzeichen für eine erfolgreiche Beimpfung des Bodens ist, dass in einer Zeitreihe der Effekt der Beimpfung stufenweise ansteigt bis zu einem Höhepunkt und dann wieder abfällt. Deswegen wurde in den vorliegenden Versuchen eine Zeitreihe auf vier Standorten durchgeführt (4. Versuchsfrage in Tabelle 2). In Abbildung 2 wird die Differenz zwischen der Kontrolle ohne Behandlung (die 0,0 Linie) und der Präparateanwendung gezeigt (grüne Balken in Abbildung 2). Dargestellt wird der Mittelwert von

allen gemessenen PGPM-Gruppen. Vor der Spritzung bei Woche 0 liegt der Wert mit Präparatebehandlung dicht bei Null. Stufenweise steigert sich der Wert nach Präparatebehandlung bis zur 8. Woche nach der Behandlung und fällt dann bis zur 15. Woche ab. Der zeitliche Verlauf der Veränderung der PGPM-Abundanzen nach der Präparatebehandlung entspricht also der erwarteten Zeitreihe bei einer Beimpfung des Bodens.

Ein zusätzliches Indiz für eine Beimpfung des Bodens mit Mikroorganismen ist eine Kolonisierung des behandelten Bodens durch die in den Präparaten angereicherten Mikroorganismen (5. Versuchsfrage in Tabelle 2). Dafür wurde geprüft, ob Mikroorganismenstämme, die häufig (> 0,5 %) in den Präparaten auftraten, auch häufiger in Böden mit Präparateanwendung auftraten, im Vergleich zur Kontrolle. Eine durch die Präparate induzierte Kolonisierung der behandelten Böden hat demnach signifikant stattgefunden. Auch in der Zeitreihe zeigte sich bei den Bakterien eine zunehmende Kolonisierung

>>>

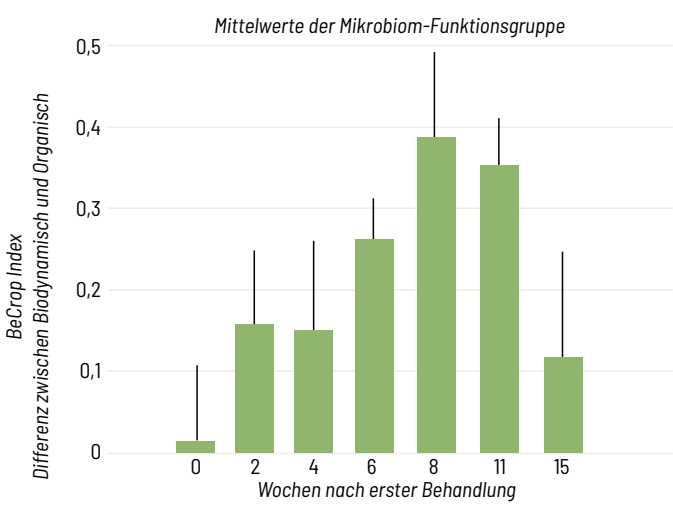
ABB 1: BIODYNAMISCHE PRÄPARATE – WIRKUNG AUF DAS MIKROBIOM AN VERSCHIEDENEN STANDORTEN



Analyse der potenziell pflanzenwachstumsfördernden Funktionen von mikrobiellen Gemeinschaften im Boden. Die Häufigkeit der Funktionen wird durch den BeCrop-Index von Biome Makers dargestellt und reicht von 1 bis 6. Mikrobielle Funktionen, die das Pflanzenwachstum fördern, sind nach Hormonproduktion und Stressanpassung unterteilt.

Einzelne Funktionen sind in hellen Farben dargestellt, funktionelle Gruppen in dunklen Farben. Die Fehlerbalken stellen Standardfehler dar. Symbole über den Balken stehen für statistische Signifikanz: T = P-Wert < 0,1, * = P-Wert < 0,05, ** = P-Wert < 0,01. Grafik aus Milke et al. (2024)

ABB 2: BD-PRÄPARATE – MIKROBIOMEFFEKT NACH BEHANDLUNG



Zeitreihenanalyse der Mittelwerte aller potenziell pflanzenwachstumsfördernden Funktionsgruppen der mikrobiellen Bodengemeinschaften. Dargestellt ist die Differenz des BeCrop-Index von Biome Makers zwischen der Kontrolle ohne Behandlung (die 0,0 Linie) und der Variante mit Spritzpräparateanwendung (grüne Balken). Die senkrechten Linien geben den Standardfehler an. Grafik aus Milke et al. (2024).

bis zur 8. Woche und dann wieder eine Abnahme bis zur 15. Woche (Details siehe Milke et al. 2024). In Übereinstimmung mit unseren Ergebnissen stellten Olimi et al. (2022) mittels softwaregestützter Ermittlung der Herkünfte von Mikroben bzw. Pilzen der Versuchsböden (Source Tracker) fest: Nach Hornmistbehandlung wurden im Wurzelbereich des Bodens Bakterien und Pilze aus dem Hornmist wiedergefunden. Der Anteil der wiedergefunden Bakterien und Pilze aus dem Hornmist war 1 Monat nach der Behandlung höher im Vergleich zu 4 Monaten nach der Behandlung.

Schlussfolgerung

Die Ergebnisse der Untersuchungen unterstützen die Hypothese, dass die Anwendung von biodynamischem Hornmist- und Hornkieselpräparat (neben möglichen weiteren Wirkungen) eine Beimpfung des Bodens mit potenziell Pflanzenwachstum fördernden Mikroorganismen ist. Die Resilienz der Pflanzen gegen Wachstumsstress wie Hitze, Trockenheit und Nässe kann dadurch erhöht werden. Das steht in Übereinstimmung mit Untersuchungen zu Präparateanwendungen, bei denen ertragssteigernde Wirkungen der biodynamischen Spritzpräparate besonders unter ungünstigen Wachstumsbedingungen beobachtet wurden (Raupp & König 1996). Welche Umwelt- und Managementfaktoren die Anreicherung der PGPM in den behandelten Böden fördern oder hemmen, und ob bzw. unter welchen Umständen das im Boden aufgebaute Potenzial tatsächlich in höherer Resilienz der Pflanzen resultiert, das ist Gegenstand weiterer Forschung. •

TAB 2: VERSUCHSFRAGEN UND ERGEBNISSE IM ÜBERBLICK

Wirken biodynamische Spritzpräparate wie eine Impfung des Bodens mit potenziell Pflanzenwachstum fördernden Mikroorganismen (PGPM)?	
• PGPM in Spritzpräparaten enthalten?	500: ✓ 501: ✓
• Erhöhte PGPM-Abundanzen (Anzahl) in den behandelten Böden?	Frankenhausen: ✓ 21 Standorte Frankreich: ✓ Darmstadt*: ✓ Geisenheim: ✗
• Übereinstimmung der Funktionsgruppen der PGPM in Spritzpräparaten und behandelten Böden?	PGPM-Anreicherung in Präparaten → Anreicherung in behandelten Böden: <ul style="list-style-type: none"> • Auxin: ✓ • Cytokinin: ✓ • Gibberellin: ✓ • Ethylenhemmung: ✓ • Exopolysaccharide: ✓ • Schwermetallentgiftung: ✓ • Salztoleranz: ✓ • Siderophore: ✓ Keine PGPM-Anreicherung in Präparaten → keine Anreicherung in behandelten Böden <ul style="list-style-type: none"> • Abscisinsäure: ✓ • Salicylsäure: ✓
Zeitreihe zeigt für Beimpfung typisches Muster mit erst zunehmenden, dann wieder abnehmenden Abundanzen der fokussierten PGPM	Frankenhausen und Frankreich (Zeitreihe): ✓
• Gibt es unabhängig von potenziell Pflanzenwachstum fördernden Mikroorganismen eine Kolonisierung behandelte Böden durch die in den Präparaten enthaltenen Mikroorganismen?	Frankenhausen und Frankreich (Zeitreihe): ✓

* Vergleich verschiedener Intensitäten der Präparateanwendung

✓ Hypothese bestätigt ✗ Hypothese nicht bestätigt

Literatur

- Meissner G., Athmann M., Fritz J., Kauer R., Stoll M., Schultz H.R.: Conversion to organic and biodynamic viticultural practices: impact on soil, grapevine development and grape quality. OENO One. 2019; 53(4):S. 639 - 659. DOI: 10.20870/oeno-one.2019.53.4.2470
- Giannattasio M.: Microbiological Features and Bioactivity of a Fermented Manure Product (Preparation 500) Used in Biodynamic Agriculture. J Microbiol Biotechnol. 2013 May;23(5):644-51.
- Milke, F., Rodas-Gaitan, H., Meissner, G., Masson, V., Oltmanns, M., Möller, M., Wohlfahrt, Y., Kulig, B., Acedo, A., Athmann, M., Fritz, J.: Enrichment of putative plant growth promoting microorganisms in biodynamic compared to organic agriculture soils. ISME Communications. 2024 Feb; 4 (1)
- Olimi E., Bickel S., Wicaksono WA., Kusstatscher P., Matzer R., Cernava T., Berg G (2022): Deciphering the microbial composition of biodynamic preparations and their effects on the apple rhizosphere microbiome. Front. Soil Sci. 2022 Nov; 2:1020869. doi: 10.3389/fsoil.2022.1020869
- Ortiz-Álvarez R., Ortega-Arranz H., Ontiveros V.J., de Celis M., Ravanari C., Acedo A., et al.: Network Properties of Local Fungal Communities Reveal the Anthropogenic Disturbance Consequences of Farming Practices in Vineyard Soils. Mäckelprang R, editor. mSystems. 2021 Jun 29; 6(3):e00344-21.
- Radha TK., Rao DLN.: Plant Growth Promoting Bacteria from Cow Dung Based Biodynamic Preparations. Indian J Microbiol. 2014 Dec;54(4):413-8.
- Raupp J., König U.J.: Biodynamic Preparations Cause Opposite Yield Effects Depending Upon Yield Levels. Biol Agric Hortic. 1996 Jan;13(2):175-88.
- Spaccini R., Mazzei P., Squartini A., Giannattasio M., Piccolo A.: Molecular properties of a fermented manure preparation used as field spray in biodynamic agriculture. Environ Sci Pollut Res. 2012 Nov;19(9):4214-25.