

温度水分对秸秆降解微生物群落功能多样性影响^①

周桂香^{1, 2, 3}, 陈林⁴, 张丛志¹, 张佳宝^{1*}

(1 土壤与农业可持续发展国家重点实验室(中国科学院南京土壤研究所), 南京 210008; 2 九江学院鄱阳湖生态经济研究中心, 江西九江 332005; 3 中国科学院大学, 北京 100049; 4 浙江大学环境与资源学院, 杭州 310058)

摘要: 秸秆降解微生物群落结构受环境因子(温度和水分)影响显著。本试验利用 BIOLOG 技术, 以秸秆腐解微生物碳源利用的平均颜色变化率(average well color development, AWCD)为指标, 研究了不同温度(15°C, 25°C 和 35°C)和水分(40%, 70% 和 90% 田间持水量)条件下小麦和玉米秸秆腐解过程中微生物碳源代谢多样性的差异。试验结果表明不同处理的 AWCD 随培育温度升高而降低, 即 15°C>25°C>35°C。随着培育时间的增加, 其降低的趋势更加明显。同样地, 小麦玉米秸秆腐解微生物的物种丰富度指数 Shannon-Wiener(*H*)和优势度指数 Simpson(*D*)也呈现出随温度升高而降低的趋势。微生物主要利用糖类和脂类物质。主成分分析结果表明在不同腐解时间, 腐解微生物代谢多样性在不同温度下差异显著, 而在不同水分下差异不显著。

关键词: 秸秆腐解; 温度; 水分; BIOLOG; 微生物群落

中图分类号: S158.2

冬小麦-夏玉米轮作体系是我国黄淮海平原地区典型的种植制度, 而秸秆还田已经成为当地培肥地力的重要生产措施。秸秆还田一方面可以增加土壤有机质的来源, 改善土壤理化性质, 提高肥力^[1-2], 另一方面可以有效防止秸秆焚烧带来的大气污染。冬小麦和夏玉米秸秆已成为农田土壤有机质的重要来源, 但是由于不同秸秆的化学组成存在差异以及参与秸秆腐解的微生物群落结构也不同。环境因子和秸秆化学性质差异会导致降解微生物群落结构的差异。有研究表明, 在植物残体的分解过程中, 随着土壤 pH 降低, 参与分解的微生物生物量呈下降趋势, 同时相关的优势微生物也出现了变化^[3]。温度对降解微生物有重要影响。在一定范围内, 随着培养温度的升高, 秸秆降解微生物活性增强, 微生物生物量增加, 可以加速秸秆分解^[4]。水分影响着土壤中 O₂ 的供应, 影响土壤可溶性物质的运移和微生物的活性, 影响着分解秸秆的厌氧菌和好氧菌微生物的相对丰度和演替^[5]。此外, 有研究表明, 在秸秆的不同分解时期, 其微生物群落结构也存在差异, 优势微生物群落不同^[6]。

目前已有学者对秸秆降解微生物群落结构进行了研究^[7], 但是对秸秆降解过程中微生物对碳源利用

能力的研究相对较少, 同时与秸秆降解微生物群落相关的环境因子(温度、水分)贡献尚不明确。本研究采用网袋法结合 BIOLOG 分析研究温度、水分对秸秆降解微生物群落变化的影响。揭示秸秆分解过程中温度水分对秸秆降解微生物群落功能多样性的影响, 能进一步明确秸秆降解机制, 为黄淮海平原的土壤地力提升和定向培育提供理论基础和技术指导。

1 材料与方法

1.1 研究区概况及试验材料

供试土壤取自中国科学院封丘农业生态试验站。该试验站在河南省封丘县潘店镇(114°24'E, 35°01'N), 位于黄淮海平原地区, 南接黄河沿岸湿地, 北连华北平原。该区域属于半湿润、半干旱的暖温带季风气候, 年平均降水量在 615 mm 左右, 年蒸发量约 1 875 mm, 年平均气温 13.9 °C 左右, 无霜期大概 220 天。该地区主要土壤类型为黄河沉积物发育而成的钙质潮土, 主要植被为次生乔灌木植物以及沼泽和水生植物等。

试验于 2013 年 5 月采集表层土壤(0 ~ 20 cm)过 2 mm 筛后, 一部分土壤样品自然风干, 另一部分样品置于 4°C 冰箱保存。采集土壤样品的基本理化性

基金项目: 国家重点基础研究发展计划(973 计划)项目(2011CB100506)资助。

* 通讯作者(jbzhang@issas.ac.cn)

作者简介: 周桂香(1987—), 女, 江西赣州人, 博士研究生, 主要从事秸秆还田研究。E-mail: gxzhou@issas.ac.cn

质为：pH 8.20，有机质含量 6.82 g/kg，全氮含量 0.55 g/kg，全磷含量 0.51 g/kg，全钾含量 18.4 g/kg。

本试验选取中国科学院封丘农业生态试验站的冬小麦和夏玉米秸秆作为腐解材料。将收获的小麦玉米秸秆在 60℃ 下烘干至恒重后截成长度为 1~2 cm，将准备好的秸秆(10 g)装入双层的尼龙网(规格为 10 cm × 10 cm，200 目)中，将尼龙网袋埋入 400 g 土壤中置于 2 000 ml 白色塑料瓶，调节土壤含水量分别为 40%、70% 和 90% 田间持水量，将白色塑料瓶放入培养箱中分别于 15℃、25℃ 和 35℃ 3 个温度下培养 120 天。通过称重法定期补充去离子水以维持土壤含水量恒定。

1.2 样品采集及分析方法

分别在秸秆腐解 7、30 和 120 天取样，每个处理分别取小麦玉米秸秆网袋各 3 袋，将尼龙网袋中的秸秆取出称重，一部分秸秆样品烘干用粉碎机磨碎，测定理化性质；另一部分样品保存于 4℃ 冰箱中用于秸秆腐解微生物 BIOLOG 分析。

秸秆理化性质测定方法参考文献[8]。

BIOLOG 分析方法[9]：采用 Biolog ECO 微平板测定土壤微生物代谢特征，每块板包含 3 个重复(其中有 1 个对照孔不含任何碳源，其余 31 个孔分别加有 1 种单一碳源和氧化还原染料四氮唑蓝)，有学者将 31 种碳源分为氨基酸类、酸类、胺类、糖类、脂类和醇类等 6 类。接种秸秆菌悬液后，微生物利用孔中的碳源进行呼吸使氧化还原电势发生变化，并将四唑类(TV)从无色还原成紫色。通过测定各孔板的吸光值及其变化来反映微生物群落代谢功能的多样性。

具体操作如下：称取相当于 0.1 g 干重的湿小麦

或玉米秸秆样品，加入 49.9 ml 浓度为 0.85% 的灭菌生理盐水(NaCl 溶液)中，摇床 4 000 r/min 振荡 30 min 后离心 1 min。取 1 ml 各处理的秸秆悬浮液，用 0.85% 无菌生理盐水稀释 10 倍，将稀释液接种到 ECO 板，每孔接种量 150 μl。接种后 ECO 板置于 25℃ 培养。每 24 h 测定波长为 590 nm 处的吸光值，连续 6 天。Biolog ECO 微平板和 Biolog Reader 购自美国 BIOLOG 公司(BIOLOG, Hayward, USA)。

1.3 数据处理

不同时期秸秆降解微生物对碳源的代谢情况用每孔颜色平均变化率(average well color development, AWCD)来描述：

$$AWCD = \frac{\sum_{i=1}^{31} (A_i - A_0)}{31}$$

式中：31 表示碳源种类总数， A_i 表示第 i 个碳源的光密度值， A_0 表示对照孔的光密度值，每个板在每一个测定时间获得一个平均 AWCD 值，将其与时间序列作图。计算 Shannon-Wiener(H)指数用于评估物种的丰富度，计算 Simpson(D)指数用于评价常见优势种的优势度。各指数计算公式如下：

$$H = -\sum P_i \cdot \ln P_i$$

$$D = 1 - \sum P_i^2$$

式中： P_i 为第 i 孔的相对吸光度与整个平板的相对吸光度值总和的比率。本实验采用 BIOLOG 微平板培养 72 h 的数据进行微生物代谢多样性分析。各处理数据与对照之间的差异水平采用独立样本 t 检验进行统计分析， $P < 0.05$ 。采用 SPSS13.0 进行相关性分析和主成分分析。

表 1 土壤基本理化性质
Table 1 Chemical properties of tested soil

pH	有机质 (g/kg)	全氮 (g/kg)	全磷 (g/kg)	全钾 (g/kg)	有效磷 (mg/kg)	速效钾 (mg/kg)	硝态氮 (mg/kg)	铵态氮 (mg/kg)
8.20	6.82	0.55	0.51	18.40	12.05	67.78	19.82	16.01

表 2 小麦玉米秸秆原样基本化学性质
Table 2 Chemical properties of wheat and maize straws before decomposition

秸秆类型	全碳(g/kg)	全氮(g/kg)	全磷(g/kg)	全钾(g/kg)	碳氮比
小麦秸秆	419.51	6.71	0.52	25.02	62.52
玉米秸秆	438.57	6.15	0.41	17.81	71.31

2 结果与分析

2.1 小麦玉米秸秆腐解过程中重量及养分含量变化

在不同温度下，秸秆重量损失差异明显，表现温度升高，秸秆重量损失越大(图 1)。而在不同水分处

理条件下，秸秆重量损失规律不一致。秸秆养分元素的含量变化也可以反映秸秆的分解情况，秸秆养分元素的含量变化幅度越大则秸秆腐解速度越快。从表 3 中可以看出，随着腐解的时间延长，秸秆中全碳和全钾含量呈下降趋势。除了 15℃ 条件下的小麦秸秆全

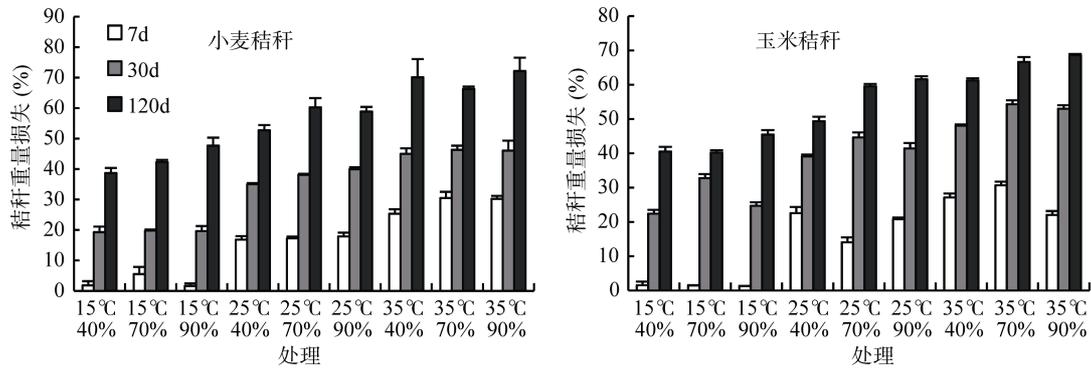


图 1 小麦玉米秸秆重量损失
Fig. 1 Mass loss of wheat and maize straws

表 3 不同温度水分条件下小麦玉米秸秆腐解 30 天和 120 天后的养分含量

Table 3 Chemical properties of wheat and maize straws after decomposed for 30d and 120d under different temperatures and moisture conditions

秸秆	处理	全碳(g/kg)		全氮(g/kg)		全磷(g/kg)		全钾(g/kg)	
		30 d	120 d	30 d	120 d	30 d	120 d	30 d	120 d
小麦秸秆	15°C, 40%WHC	428.33	369.03	4.78	5.71	0.55	1.14	11.63	8.26
	15°C, 70%WHC	414.85	402.19	3.94	4.56	0.53	1.10	10.12	8.35
	15°C, 90%WHC	405.90	346.49	4.26	4.33	0.51	0.99	10.49	8.01
	25°C, 40%WHC	424.83	387.24	4.69	4.63	0.62	1.20	10.75	6.98
	25°C, 70%WHC	434.30	319.37	5.06	1.72	0.58	1.42	7.30	5.21
	25°C, 90%WHC	423.82	399.31	6.86	5.51	0.76	1.37	6.44	3.76
	35°C, 40%WHC	423.10	348.43	7.75	5.66	0.89	1.73	9.48	5.96
	35°C, 70%WHC	418.14	370.50	8.14	6.74	0.90	2.07	8.41	4.21
	35°C, 90%WHC	437.11	299.82	7.42	6.53	0.83	1.99	8.80	4.56
玉米秸秆	15°C, 40%WHC	435.58	403.78	5.89	2.97	2.13	2.00	11.32	7.94
	15°C, 70%WHC	458.05	421.56	6.00	3.00	1.98	1.98	8.27	4.01
	15°C, 90%WHC	394.12	408.11	6.13	3.65	1.79	2.09	10.00	7.99
	25°C, 40%WHC	439.48	386.84	5.68	2.75	2.05	1.90	10.91	6.83
	25°C, 70%WHC	425.10	348.43	7.43	4.78	2.61	1.64	7.87	5.03
	25°C, 90%WHC	360.57	437.60	6.78	5.58	2.19	2.16	9.52	6.38
	35°C, 40%WHC	404.56	373.59	9.57	4.91	3.18	3.09	10.25	8.21
	35°C, 70%WHC	376.10	295.10	12.92	4.21	4.32	3.24	11.78	7.98
	35°C, 90%WHC	410.97	430.00	10.75	6.39	3.11	3.62	8.68	5.95

氮含量增加外,其他处理小麦秸秆全氮含量随腐解时间的增加而下降。小麦秸秆全磷含量从 30 天到 120 天呈明显的增加趋势,而玉米秸秆全磷含量随腐解时间增加没有表现出一定的规律。秸秆全碳含量与秸秆纤维素半纤维素含量成正比,温度增加,易分解物质减少加快,全碳含量的减少加快。

水分在秸秆腐解过程中也有重要影响,在适宜的水分范围内,秸秆腐解微生物活性较高,而水分过低或过高都不利于微生物活动,不利于秸秆腐解。有研究发现,在非洲降雨量大的潮湿森林地区秸秆腐解速度比在降雨量小的地区快^[10]。在本研究中,70% 田间持水量的处理条件下,秸秆全碳含量降低的幅度最

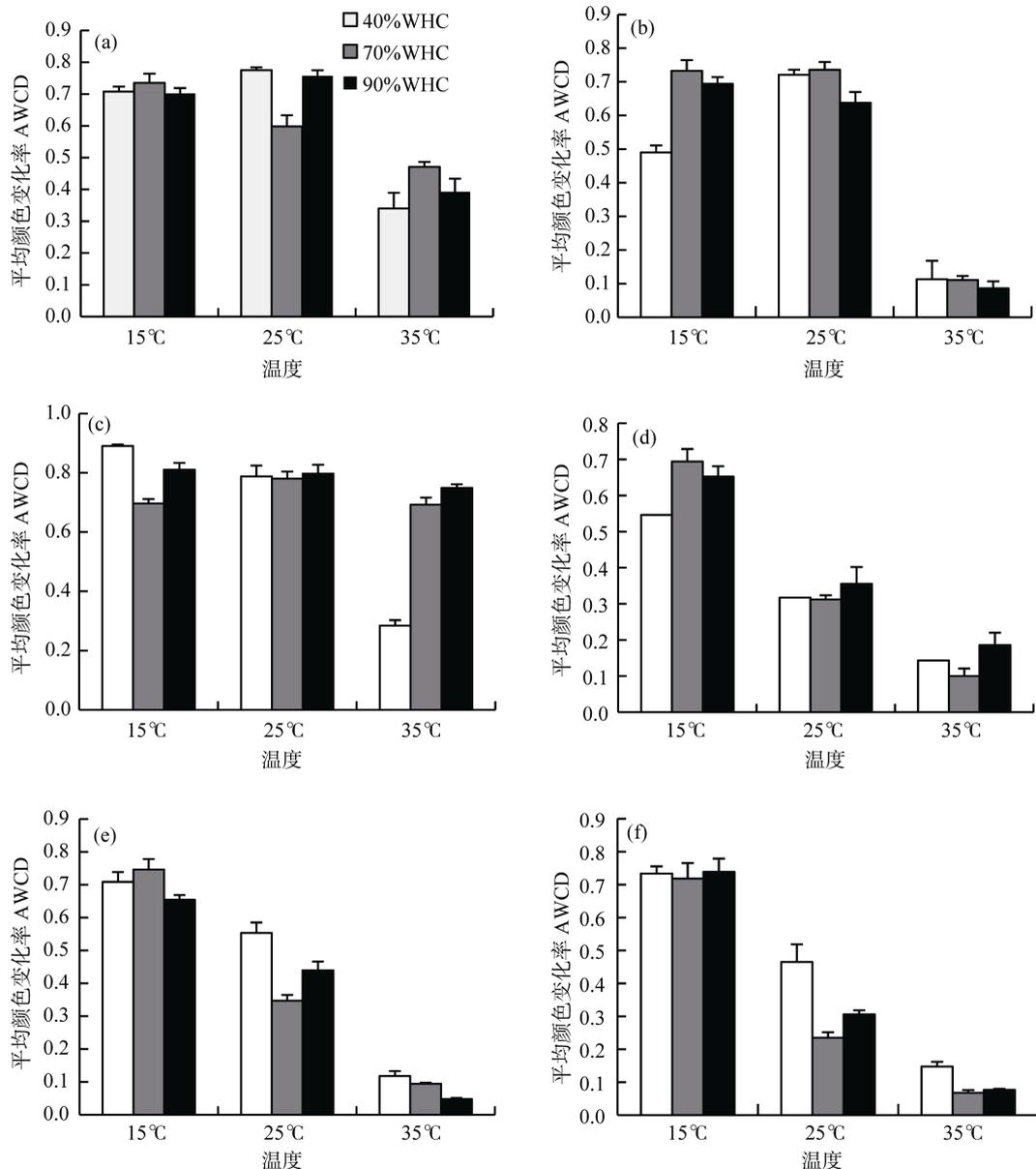
大。40% 田间持水量处理的土壤较为干燥,而 90% 田间持水量处理的土壤偏湿, O₂ 不足,不利于土壤可溶性物质的扩散和迁移,均不利于好氧微生物的生长和秸秆腐解。不同的温度水分处理下的小麦秸秆与玉米秸秆变化规律类似。

2.2 秸秆腐解微生物代谢活性

平均颜色变化率(AWCD)可反映秸秆腐解微生物群落对不同碳源的利用情况,用于表征秸秆微生物碳源代谢的活性,是土壤微生物群落利用单一碳源能力的一个重要指标,在一定程度上反映出微生物的活性、种群数量及结构特征。为了探讨温度水分对秸秆腐解微生物碳源代谢活性的影响,本研究分别选用腐

解 7, 30 和 120 天的小麦玉米秸秆样品, 以 72 h 测定的 AWCD 值为基础分析各处理微生物群落代谢多样性的差异。从图 2 可以看出, 在腐解前期(7 天), 15°C 和 25°C 条件下的 AWCD 值接近, 均大于 35°C 条件下的 AWCD 值。腐解 120 天, 3 个温度下秸秆腐解微生物碳源利用 AWCD 值表现为 15°C > 25°C > 35°C, 代谢功能多样性差异显著。本研究供试土壤来自封丘, 该地区年均温为 13.9°C, 土壤微生物以低

温型为主。较低的温度有利于秸秆对土壤有机碳和微生物量碳的累积和储存, 而较高的温度加速秸秆有机碳向无机碳转化。温度增加, 秸秆腐解加快, 全碳的减少也加快, 容易利用的碳源减少, 微生物活性降低。然而, 在本研究中, 水分对秸秆腐解微生物代谢多样性的影响规律不显著, 原因可能是温度对微生物代谢多样性的效应一定程度上掩盖了水分对微生物代谢的效应。



(a: 7 天, 小麦秸秆; b: 7 天, 玉米秸秆; c: 30 天, 小麦秸秆; d: 30 天, 玉米秸秆; e: 120 天, 小麦秸秆; f: 120 天, 玉米秸秆)

图 2 小麦玉米秸秆腐解 7、30、120 天后微生物的 AWCD 值

Fig. 2 Microbial activity (AWCD) under different temperatures and moistures during decomposition of wheat and maize straws on day 7, 30 and 120

2.3 微生物代谢功能多样性指数

生物多样性指数表征的是生物的种类和均匀度, 在一定程度上反映微生物生物群落的物种丰富度和各物种比例。为了研究温度及水分对秸秆腐解微生物

代谢功能多样性的影响, 本研究以 72 h 的 AWCD 值为基础进行分析。各处理微生物多样性和均匀度指数结果如表 4 所示, 在 15°C、25°C 和 35°C 条件下, 小麦秸秆腐解微生物物种丰富度指数 Shannon-Wiener

表 4 小麦玉米秸秆腐解第 120 天微生物代谢功能多样性和均匀度指数

Table 4 Richness index and dominance index of microbial community metabolic diversity of wheat and maize straw decomposition

秸秆类型	处理	丰富度指数 Shannon-Wiener (H)	优势度指数 Simpson(D)
小麦秸秆	15℃, 40%WHC	3.156 ± 0.034	0.951 ± 0.001
	15℃, 70%WHC	3.136 ± 0.029	0.951 ± 0.002
	15℃, 90%WHC	3.148 ± 0.022	0.951 ± 0.001
	25℃, 40%WHC	2.914 ± 0.045	0.936 ± 0.002
	25℃, 70%WHC	2.997 ± 0.042	0.941 ± 0.003
	25℃, 90%WHC	2.971 ± 0.015	0.939 ± 0.002
	35℃, 40%WHC	1.530 ± 0.21	0.717 ± 0.036
	35℃, 70%WHC	1.983 ± 0.137	0.765 ± 0.027
	35℃, 90%WHC	2.408 ± 0.073	0.878 ± 0.020
玉米秸秆	15℃, 40%WHC	3.097 ± 0.007	0.950 ± 0.001
	15℃, 70%WHC	3.228 ± 0.016	0.956 ± 0.001
	15℃, 90%WHC	3.121 ± 0.035	0.950 ± 0.002
	25℃, 40%WHC	2.869 ± 0.040	0.927 ± 0.003
	25℃, 70%WHC	2.973 ± 0.043	0.938 ± 0.003
	25℃, 90%WHC	2.894 ± 0.066	0.931 ± 0.008
	35℃, 40%WHC	2.647 ± 0.098	0.897 ± 0.009
	35℃, 70%WHC	2.706 ± 0.126	0.916 ± 0.008
	35℃, 90%WHC	2.505 ± 0.031	0.904 ± 0.003

(H)和优势度指数 Simpson(D)在 15℃ 和 25℃ 处理下未表现出明显差异,而与 35℃ 处理的差异较大。玉米秸秆在 15℃ 条件下,3 个水分处理 D 无显著差异,25℃ 和 35℃ 条件下不同水分处理存在差异。从整体上看,70% 田间持水量的处理 D 高于 90% 和 40% 田间持水量处理。这表明,对于玉米秸秆而言,70% 田间持水量有利于秸秆腐解微生物的生长,秸秆腐解微生物种类更为丰富,优势物种生长好,有利于秸秆分解。

腐解 120 天后,秸秆腐解微生物利用六大碳源的能力如表 5 所示。从表中可以看出,小麦及玉米秸秆腐解微生物对供试碳源的利用随着温度升高而降低,而且秸秆腐解微生物利用糖类、脂类和醇类能力较强,利用氨基酸和酸类能力较弱。这与秸秆本身化学组成有关,秸秆主要由纤维素、半纤维素和木质素等组成,其降解中间产物含有这 3 类物质。

2.4 主成分分析

利用主成分分析研究温度水分对微生物群落功能多样性是否有显著影响。图 3 主成分分析结果表明温度对秸秆腐解微生物代谢多样性有显著影响,而不同水分下的微生物代谢多样性差异不显著。在同一取样时期,小麦和玉米秸秆样品主成分分析图相似。另外,对秸秆腐解微生物 72 h 的 AWCD 值与温度水分的相关性进行了分析发现,在不同时期温度与 AWCD 值相关性均极显著,而秸秆类型只在腐解前期(7 天)与 AWCD 值相关性显著,水分与 AWCD 值相关性不显著(表 6)。本研究中水分对 AWCD 值影响不显著的

表 5 小麦玉米秸秆腐解第 120 天微生物利用六大碳源平均吸光度
Table 5 Absorbance of six carbon sources on 120 d decomposition of wheat and maize straws

秸秆	处理	糖类	氨基酸	脂类	醇类	胺类	酸类
小麦秸秆	15℃, 40%WHC	0.890	0.423	0.997	0.789	0.549	0.651
	15℃, 70%WHC	0.938	0.490	1.020	0.619	0.924	0.616
	15℃, 90%WHC	0.905	0.534	0.823	0.470	0.801	0.454
	25℃, 40%WHC	0.488	0.323	0.899	0.667	0.834	0.463
	25℃, 70%WHC	0.228	0.314	0.931	0.270	0.375	0.202
	25℃, 90%WHC	0.306	0.358	0.966	0.355	0.668	0.301
	35℃, 40%WHC	0.016	0.027	0.824	0.026	0.000	0.001
	35℃, 70%WHC	0.058	0.033	0.523	0.021	0.038	0.006
	35℃, 90%WHC	0.030	0.025	0.228	0.035	0.033	0.001
玉米秸秆	15℃, 40%WHC	0.935	0.506	1.186	0.728	0.798	0.481
	15℃, 70%WHC	0.875	0.489	1.111	0.621	0.728	0.589
	15℃, 90%WHC	0.841	0.529	1.292	0.572	0.908	0.529
	25℃, 40%WHC	0.621	0.258	0.764	0.821	0.227	0.291
	25℃, 70%WHC	0.223	0.209	0.455	0.221	0.175	0.183
	25℃, 90%WHC	0.224	0.305	0.588	0.425	0.123	0.263
	35℃, 40%WHC	0.123	0.058	0.412	0.076	0.086	0.153
	35℃, 70%WHC	0.078	0.031	0.193	0.074	0.079	0.017
	35℃, 90%WHC	0.065	0.133	0.195	0.076	0.101	0.100

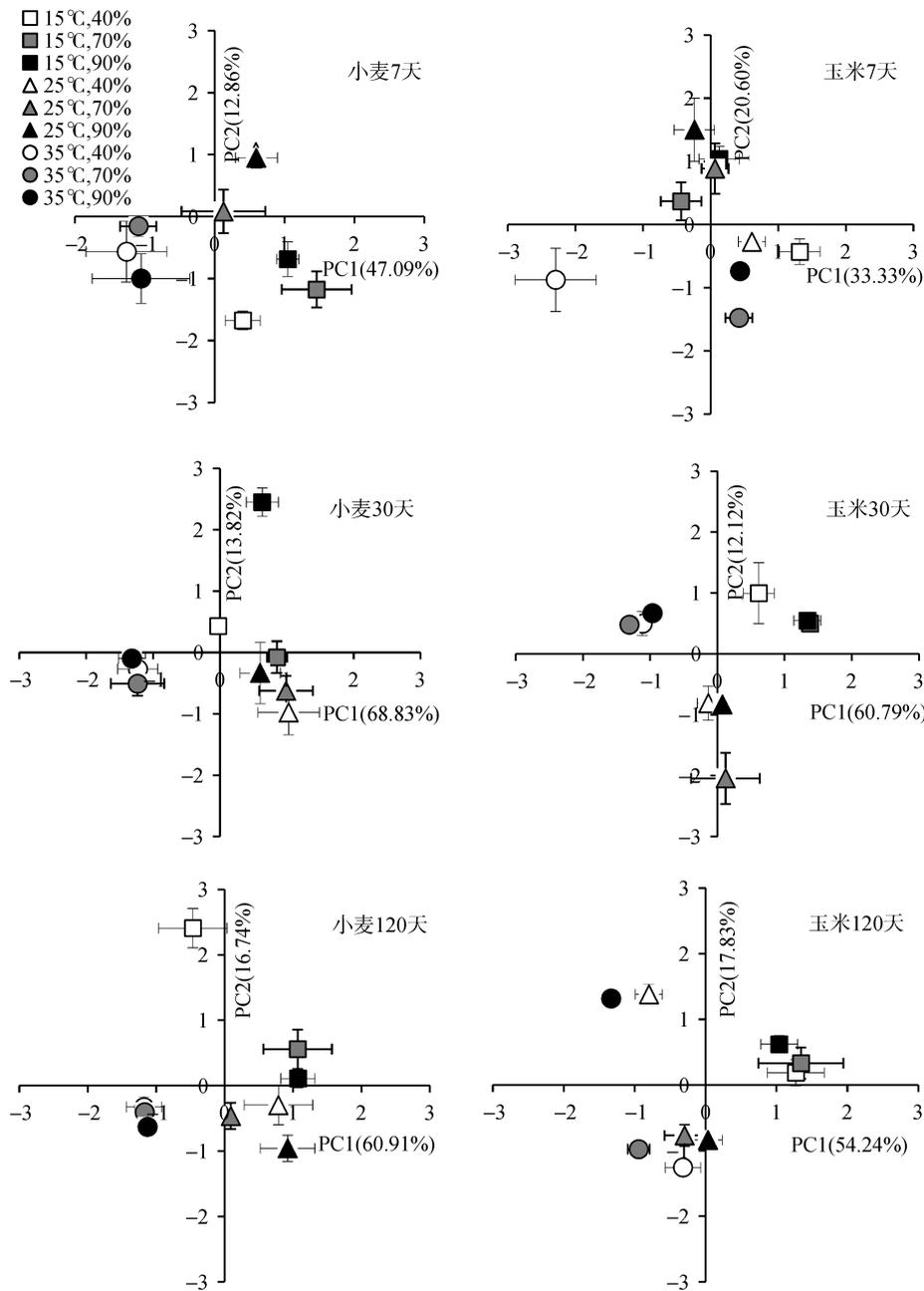


图 3 不同温度水分条件下秸秆腐解微生物碳源利用主成分分析

Fig. 3 Principal component analysis (PCA) of carbon utilization of microbial community of wheat and maize straw decomposition under different temperatures and moistures

表 6 秸秆腐解微生物 AWCD 值(72 h)与温度水分的相关性
Table 6 Correlation of AWCD (72 h) with temperature, moisture and straw type

腐解时间(天)	温度	水分	秸秆类型
7	-0.625**	0.164	0.322*
30	-0.827**	0.074	-0.226
120	-0.957**	-0.120	-0.047

注：* 表示相关性达到 $P < 0.05$ 显著水平，** 表示相关性达到 $P < 0.01$ 显著水平。

原因一方面可能是土壤水分从 40% ~ 90% 田间持水量没有达到极限,研究表明当土壤水分达到萎蔫系数

田间持水量时会影响微生物活性^[11]。另一方面,温度对 AWCD 值的影响会在一定程度上掩盖水分对 AWCD 值的影响。

3 讨论与结论

小麦和玉米秸秆腐解微生物对温度更为敏感,而对水分的敏感性相对不明显。当温度较高时秸秆腐解较快,秸秆经分解后剩余的养分含量较少,微生物可利用的碳源较少,导致参与秸秆腐解的微生物活性低。因此,温度越高,秸秆腐解微生物代谢多样性

AWCD 值越低。随着腐解时间的增加,这一现象更加明显。

温度影响着微生物胞外酶的产生和周转,因此间接地影响有机物分解和温度敏感性关系^[12]。一定范围内,酶活性随着温度升高而升高,当基质或能源不足时,微生物会抑制酶的产生。有研究表明,微生物胞外酶对温度的敏感性随季节变化而变化,季节可权衡酶结合能力和催化作用^[13-14]。当升温时,微生物会完善和权衡自身的进化来适应因温度变化而导致的呼吸代谢变化^[15]。Liski 等^[16]用模型模拟了温度变异和夏季干旱对欧洲森林苏格兰松针叶降解的影响,结果表明分解率对温度敏感。Dilly 等^[17]对德国典型的农田土壤秸秆还田时细菌微生物群落的差异进行了研究,结果发现由于气候条件(主要是年均温和降雨量)存在差异导致了秸秆腐解微生物群落结构的差异。温度和水一方面影响着土壤微生物群落的组成和生理功能,另一方面影响可溶性有机物的含量,影响微生物底物供给,进而影响秸秆分解速度^[18-19]。

本研究对不同温度水分条件秸秆腐解微生物代谢功能多样性进行了分析,结果表明秸秆腐解微生物代谢功能多样性随着温度升高而降低。秸秆全碳含量与纤维素和半纤维素含量呈正相关^[20],在水热条件好的环境中秸秆腐解较快,全碳含量的减少较快,说明在该环境条件下易分解物质的减少和难分解物质的累积较快^[9]。利用 BIOLOG 法测定腐解微生物活性时,温度增加,秸秆经过分解后残留物种养分含量少,容易被微生物利用的碳源少,因此微生物的活性低^[21],导致 AWCD 值表现出随温度增加而降低的趋势。相关性分析也表明温度与微生物碳源利用能力显著相关。在本研究中水分对微生物代谢功能多样性影响不显著,一方面可能是由于本研究中水分处理未达到土壤水分极限(包括萎蔫系数和田间持水量)导致水分对微生物活性的影响效应不显著;另一方面,本研究中温度对 AWCD 值的强烈影响会在一定程度上掩盖水分对 AWCD 值的影响。温度不仅显著影响着腐解微生物平均颜色变化率,还影响多样性指数。此外,AWCD 值主成分分析结果也表明,在腐解的不同时期(7, 30 和 120 天),秸秆腐解微生物的代谢功能多样性在不同温度下表现出显著差异,在不同水分处理中差异较小。

参考文献：

[1] Hadas A, Kautsky L, Goek M, Kara EE. Rates of decomposition of plant residues and available nitrogen in soil, related to residue composition through simulation of

carbon and nitrogen turnover[J]. *Soil Biology and Biochemistry*, 2004, 36: 255-266

- [2] Wakelin SA, Colloff MJ, Harvey PR, Marschner P, Gregg AL, Rogers SL. The effects of stubble retention and nitrogen application on soil microbial community structure and functional gene abundance under irrigated maize[J]. *Fems Microbiology Ecology*, 2007, 59: 661-670
- [3] Merila P, Malmivaara-Lamsa M, Spetz P, Stark S, Vierikko K, Derome J, Fritze H. Soil organic matter quality as a link between microbial community structure and vegetation composition along a successional gradient in a boreal forest[J]. *Applied Soil Ecology*, 2010, 46: 259-267
- [4] Feng XJ, Simpson MJ. Temperature and substrate controls on microbial phospholipid fatty acid composition during incubation of grassland soils contrasting in organic matter quality[J]. *Soil Biology and Biochemistry*, 2009, 41: 804-812
- [5] Kimura M, Asakawa S. Comparison of community structures of microbiota at main habitats in rice field ecosystems based on phospholipid fatty acid analysis[J]. *Biology and Fertility of Soils*, 2006, 43: 20-29
- [6] Bastian F, Bouziri L, Nicolardot B, Ranjard L. Impact of wheat straw decomposition on successional patterns of soil microbial community structure[J]. *Soil Biology and Biochemistry*, 2009, 41: 262-275
- [7] Vanhala P, Karhu K, Tuomi M, Bjorklof K, Fritze H, Liski J. Temperature sensitivity of soil organic matter decomposition in southern and northern areas of the boreal forest zone[J]. *Soil Biology and Biochemistry*, 2008, 40: 1 758-1 764
- [8] 鲁如坤. 土壤农业化学分析方法[M]. 北京: 中国农业科技出版社, 1999
- [9] 王晓玥, 蒋瑀霁, 隋跃宇, 孙波. 田间条件下小麦和玉米秸秆腐解过程中微生物群落的变化-BIOLOG 分析[J]. *土壤学报*, 2012, 49(5): 1 003-1 011
- [10] Tian G, Badejo MA, Okoh AI, Ishida F, Kolawole GO, Hayashi Y, Salako FK. Effects of residue quality and climate on plant residue decomposition and nutrient release along the transect from humid forest to Sahel of West Africa[J]. *Biogeochemistry*, 2007, 86: 217-229
- [11] Williams MA. Response of microbial communities to water stress in irrigated and drought-prone tallgrass prairie soils[J]. *Soil Biology and Biochemistry*, 2007, 39: 2 750-2 757
- [12] Cusack DF, Torn MS, McDowell WH, Silver WL. The response of heterotrophic activity and carbon cycling to nitrogen additions and warming in two tropical soils[J]. *Global Change Biology*, 2010, 16: 2 555-2 572
- [13] Koch O, Tschirko D, Kandeler E. Temperature sensitivity of microbial respiration, nitrogen mineralization, and potential soil enzyme activities in organic alpine soils[J]. *Global Biogeochemical Cycles*, 2007: 21
- [14] Wallenstein MD, McMahon SK, Schimel JP. Seasonal variation in enzyme activities and temperature sensitivities in Arctic tundra soils[J]. *Global Change Biology*, 2009, 15: 1 631-1 639

- [15] Hochachka PW, Somero GN. *Biochemical Adaptation: Mechanism and Process in Physiological Evolution*[M]. Oxford, New York: Oxford University Press, 2002: 473
- [16] Liski J, Nissinen A, Erhard M, Taskinen O. Climatic effects on litter decomposition from arctic tundra to tropical rainforest[J]. *Global Change Biology*, 2003, 9: 575–584
- [17] Dilly O, Bloem J, Vos A, Munch JC. Bacterial diversity in agricultural soils during litter decomposition[J]. *Applied and Environmental Microbiology*, 2004, 70: 468–474
- [18] Avrahami S, Liesack W, Conrad R. Effects of temperature and fertilizer on activity and community structure of soil ammonia oxidizers[J]. *Environmental Microbiology*, 2003, 5: 691–705
- [19] Thomsen IK, Schjonning P, Jensen B, Kristensen K, Christensen BT. Turnover of organic matter in differently textured soils - II. Microbial activity as influenced by soil water regimes[J]. *Geoderma*, 1999, 89: 199–218
- [20] Preston CM, Trofymow JA, CIDET Working Grop. Variability in litter quality and its relationship to litter decay in Canadian forests[J]. *Canadian Journal of Botany- Revue Canadienne De Botanique*, 2000, 78: 1 269–1 287
- [21] Kemmitt SJ, Lanyon CV, Waite IS, Wen Q, Addiscott TM, Bird NRA, O'Donnell AG, Brookes PC. Mineralization of native soil organic matter is not regulated by the size, activity or composition of the soil microbial biomass - A new perspective[J]. *Soil Biology and Biochemistry*, 2008, 40: 61–73

Effects of Temperature and Moisture on Microbial Community Function Responsible for Straw Decomposition

ZHOU Gui-xiang^{1, 2, 3}, CHEN lin⁴, ZHANG Cong-zhi¹, ZHANG Jia-bao^{1*}

(1 *State Key Laboratory of Soil and Sustainable Agriculture (Institute of Soil Science, Chinese Academy of Sciences), Nanjing 210008, China*; 2 *Poyang Lake Eco-economy Research Center, Jiujiang University, Jiujiang, Jiangxi 332005, China*; 3 *University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China*; 4 *College of Environmental and Resource Sciences, Zhejiang University, Hangzhou 310058, China*)

Abstract: Environment factors, especially temperature and moisture, have significant effects on microbial community associated with straw decomposition. This study investigated the differences in metabolic diversity of microbes during decomposition of straws under different temperatures (15°C, 25°C, 35°C) and moistures (40%, 70%, 90% water holding content) by BIOLOG analysis. Litterbag method was used to distinguish the straw-decomposing microbial community and soil microbial community. The results showed that the average well color development (AWCD) of microbial community responsible for straw decomposition declined with increasing incubation temperature, the decrease of AWCD became more significant with increasing incubation time. Besides, the richness index and dominance index decreased with the increasing temperature. The sugar and lipid were the most important sources used by microbes during the incubation. Principal component analysis showed that temperature rather than moisture significantly affected the metabolic diversity of microbes during the decomposition period.

Key words: Straw decomposition; Temperature; Moisture; BIOLOG; Microbial community