

低分子量聚乙烯对土壤氮含量及相关酶的影响

吴 国¹, 陶宗娅^{1*}, 李 维¹, 罗学刚², 王清磊¹, 王玲琼¹

(1.四川师范大学生命科学学院, 成都 610101; 2.西南科技大学生物质材料教育部工程研究中心, 四川 绵阳 621010)

摘 要:环境降解地膜可在较短时间内碎片化,并进一步由碎片降解为粉末状的低分子量聚乙烯(LMWPE)。利用不同分子量聚乙烯粉末模拟环境降解地膜降解后的聚乙烯组分,将3种不同分子量LMWPE(M1=2000、M2=5000、M3=100 000)添加到盆栽土壤中种植小麦,测试分析小麦不同生育期土壤氮含量及两种关键酶活性变化,为环境降解地膜的环境安全性评估提供实验依据。结果表明:处理组土壤全氮、碱解氮含量在小麦分蘖期、孕穗期、开花期等显著低于对照组,土壤脲酶活性在拔节期至灌浆期受到显著抑制,不同分子量LMWPE处理对小麦各个生育期土壤蛋白酶活性的影响未达显著水平。LMWPE可在一定程度上降低土壤供氮能力,土壤氮素转换受到一定程度的抑制。以LMWPE为原料的环境降解地膜的环境安全性有待进一步探究。

关键词:环境降解地膜;低分子量聚乙烯(LMWPE);土壤氮含量;土壤酶活性

中图分类号:X53 文献标志码:A 文章编号:1672-2043(2013)09-1834-07 doi:10.11654/jaes.2013.09.019

Influence of Low Molecular Weight Polyethylene on Nitrogen Contents and Related Enzyme Activities in Potted Wheat Soil

WU Guo¹, TAO Zong-ya^{1*}, LI Wei¹, LUO Xue-gang², WANG Qing-lei¹, WANG Ling-qiong¹

(1.Life Science College, Sichuan Normal University, Chengdu 610101, China; 2.Engineering Research Center of Biomass Materials(SWUST), Ministry of Education, Mianyang 621010, China)

Abstract: The environmental degradable mulch film (EDMF) can be broken down into smaller bits or powdered residues with decreased molecular weight in a short period, which have provided an available way for solving the white pollution in field ecosystem. The powdered residues in soil have strong hydrophobicity and maybe very slow to be degraded completely. There were much more argument about the environmental biology effects of the mulch film residues on soil microenvironments and crop growth. In the study, it was imitated that the EDMF were broken down into the powdered polyethylene components under natural conditions by adding three kinds of low molecular weight polyethylene (LMWPE) which had different molecular weight (M1=2000, M2=5000, M3=100 000) into the pot-soil and seeded wheat under natural conditions, and nitrogen contents and related enzymes activities in the soil were analysed during the period of wheat growth for providing the evidences of evaluating the environmental safety of degraded residues of EDMF in soil. The results showed that total nitrogen contents and effective nitrogen contents in the pot-soil were lower significantly compared with CK (The group without LMWPE added) during tillering stage, booting stage and florescence, the activities of soil urease were inhibited markedly through jointing stage to filling stage, but activities of soil protease were hardly influenced during whole growth period. It is suggests that deliverability of soil nitrogen contents has been decreased by treatments of powdered LMWPE added into the pot-soil and the environmental security of EDMF needs to be further investigated.

Keywords: environmental degradable mulch film; low molecular weight polyethylene (LMWPE); soil nitrogen content; soil enzymes activities

收稿日期:2012-12-22

基金项目:国家“十一·五”科技支撑计划项目子课题(2007BAE42B04-01);四川省教育厅重点课题(11ZA096);生物质材料教育部工程研究中心(西南科技大学,11zxbk03);四川师范大学开放实验项目(2012)

作者简介:吴 国,男,硕士研究生,主要研究方向为植物逆境生物化学与分子生物学。E-mail:wuguoyk@sina.com

* 通信作者:陶宗娅 E-mail:t89807596@yahoo.com.cn

可降解塑料的研究与应用备受关注,其中对农用可降解地膜的研制已取得可喜进展。目前已用于农业生产可降解地膜包括光降解膜、生物降解膜、环境降解膜等^[1]。环境降解膜因其在自然环境中可通过物理降解、光降解、生物降解等多种途径进行综合降解,具有可控降解、降解速率较快、降解残留物小等优点,在设施农业上具有广阔的应用前景^[2-5]。

对环境降解地膜的研究主要集中在材料改性、成膜性能、覆膜对提高农作物产量及土壤环境的影响等方面^[6-9]。环境降解地膜在较短时间内碎片化降解后,形成大小不一的残膜碎片堆积在土壤耕作层中,对植物生长代谢和环境产生多方面的影响^[10-11]。随着对环境降解地膜成膜技术和工艺的改进,其残膜碎片可进一步形成粉末状残留物,关于这类粉末状残留物与植物生长代谢和环境之间关系的研究鲜有报道。

氮素是植物的三大生命元素之一,土壤氮素转化是土壤-植物-大气连续系统中氮素循环的重要组成部分,是评价土壤质量的主要指标之一,直接影响作物产量和品质^[12]。土壤全氮、碱解氮可反映土壤供氮潜力和当季作物的土壤供氮能力,其含量与土壤中氮代谢关键酶活性密切联系^[13]。关于环境降解地膜粉末状残留物对土壤氮素转化影响的研究报道却很少。

本研究采用不同分子量聚乙烯粉末模拟环境降解地膜降解后的聚乙烯组分,将其添加在土壤中进行小麦盆栽试验,通过测定分析小麦不同生育期土壤全氮、碱解氮含量及土壤脲酶、蛋白酶活性变化,研究环境降解地膜残留物对土壤氮素水平及氮素转化的影响,为环境降解地膜的环境友好性和安全性评估及推广应用提供实验依据。

1 材料与方法

1.1 供试材料

小麦(*Triticum aestivum* L.)品名为川农16,购自四川农科种业有限公司。低分子量聚乙烯(LMWPE)分子量分别为2000(M1)、5000(M2)和100 000以上(M3),购自中国石油化工股份公司茂名分公司。土壤质地为壤土,其初始肥力水平为有机质46.65 g·kg⁻¹,全氮2.59 g·kg⁻¹,全磷1.15 g·kg⁻¹,全钾21.25 g·kg⁻¹,碱解氮130.54 mg·kg⁻¹,有效磷293.89 mg·kg⁻¹,有效钾154.1 mg·kg⁻¹,pH6.96。塑料花盆($d=30$ cm, $h=50$ cm)装土15 kg。

1.2 实验设计

将3种LMWPE(M1、M2、M3)添加在土壤中,其

添加量是根据生产中90 kg·hm⁻²覆膜量及覆膜1年和连续覆膜5、10、50、100年所需覆膜量,分别折算为花盆中每千克土的LMWPE添加量,即得0.042 41 g·kg⁻¹(1年量)、0.212 05 g·kg⁻¹(5年量)、0.424 1 g·kg⁻¹(10年量)、2.120 5 g·kg⁻¹(50年量)和4.241 0 g·kg⁻¹(100年量)。准确称取LMWPE与一定量土壤混匀后装盆,作为处理组;以不添加LMWPE的土壤装盆作为对照(CK)。

试验于2010年11月5日至2011年5月29日在四川师范大学生命科学学院盆栽场进行。自然条件下播种,苗期匀苗定植,每盆留苗8~10株。分别在小麦分蘖期(2011.1.15)、拔节期(2011.2.26)、孕穗期(2011.3.19)、开花期(2011.4.15)、灌浆期(2011.5.6)、成熟期(2011.5.29)采用四分法采集土壤样本,置白瓷盘中于阴凉处风干后,分别过40目和80目标准筛,前者用于测定全氮和碱解氮含量,后者低温保存,用于测定土壤酶活性。

1.3 测试方法及统计分析

采用凯氏-蒸馏法测定土壤全氮含量,碱解扩散法测定土壤碱解氮含量^[14];采用靛酚比色法^[15]测定土壤脲酶活性,以1 g土反应24 h后产生的NH₃-N的毫克数表示;采用加勒斯江法^[16]测定土壤蛋白酶活性,以1 g土反应24 h后产生氨基酸的毫克数表示。

将相同分子量且不同添加量的处理求均值,将不同分子量的各处理均值进行单因素方差分析(One-way ANOVA),以LSD法进行处理间均值多重比较,并进行土壤全氮、碱解氮与脲酶、蛋白酶之间的相关性分析。采用SPSS 18.0进行统计分析,以Excel 2003制作图表。

2 结果与分析

2.1 不同分子量LMWPE对土壤氮含量及关键酶影响的单因素方差分析

由表1可见,不同分子量LMWPE处理对小麦不同生育期盆栽土壤全氮、碱解氮含量和土壤脲酶活性均产生不同程度的影响,且在小麦分蘖期、孕穗期的差异均达到显著水平($P<0.05$)或极显著水平($P<0.01$),但土壤蛋白酶活性变化的差异均未达显著水平。

2.2 不同分子量LMWPE对土壤氮含量影响

2.2.1 土壤全氮含量

由图1可见,3种不同分子量LMWPE处理均较CK显著降低了小麦3个生育期的土壤全氮含量,其降低幅度为20.7%~33.7%($P<0.05$),但处理之间的差

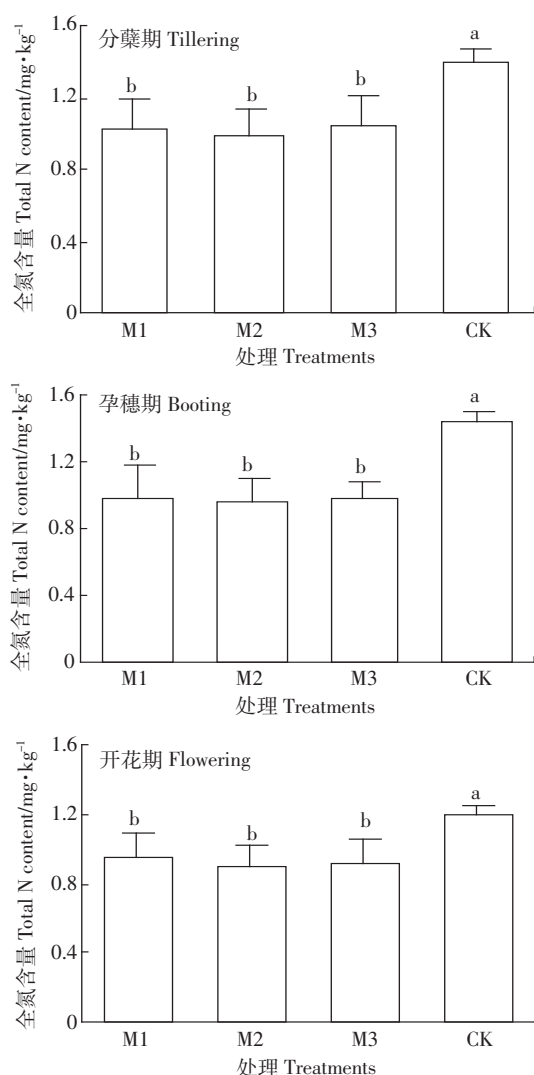
表 1 不同分子量 LMWPE 对小麦各生育期盆栽土壤氮含量及相关酶活性的单因素方差分析

Table 1 One-way ANOVA of nitrogen contents and related enzyme activities in potted wheat soil mixed with LMWPE of different molecular weight

小麦生育期 Growth stages of wheat	全氮含量 Total nitrogen content		碱解氮含量 Effective nitrogen content		脲酶活性 Urease activities		蛋白酶活性 Protease activities	
	$F_{(3,14)}$	Sig.	$F_{(3,14)}$	Sig.	$F_{(3,14)}$	Sig.	$F_{(3,14)}$	Sig.
分蘖期 Tillering stage	5.474	0.011*	3.942	0.031*	5.879	0.008**	1.486	0.261
拔节期 Jointing stage	2.148	0.140	1.747	0.203	5.521	0.010*	3.073	0.062
孕穗期 Booting stage	9.377	0.001**	10.298	0.001**	7.208	0.004**	1.802	0.193
开花期 Flowering stage	3.624	0.040*	1.127	0.372	6.006	0.008**	0.129	0.941
灌浆期 Filling stage	2.970	0.068	0.946	0.445	3.767	0.036*	3.385	0.052
成熟期 Maturing stage	2.988	0.067	11.508	0.000**	2.934	0.070	1.307	0.311

注: $F_{(3,14)}$ 为不同处理之间的 F 统计值; * $P < 0.05$, ** $P < 0.01$ 。

Note: $F_{(3,14)}$ is the F -value of different treatments; * $P < 0.05$, ** $P < 0.01$ 。



图中不同小写字母表示不同处理之间的差异达显著性水平 ($P < 0.05$), 下同

The different small letter mean there were significant difference ($P < 0.05$). The same as below

图 1 不同分子量 LMWPE 对小麦盆栽土壤全氮含量的影响
Figure 1 The change of total nitrogen contents in potted wheat soil mixed with LMWPE of different molecular weight

异未达显著水平。

2.2.2 土壤碱解氮含量

对土壤碱解氮含量变化进行统计分析, 其结果 (图 2) 与 CK 比较, 小麦分蘖期 M2 处理显著降低

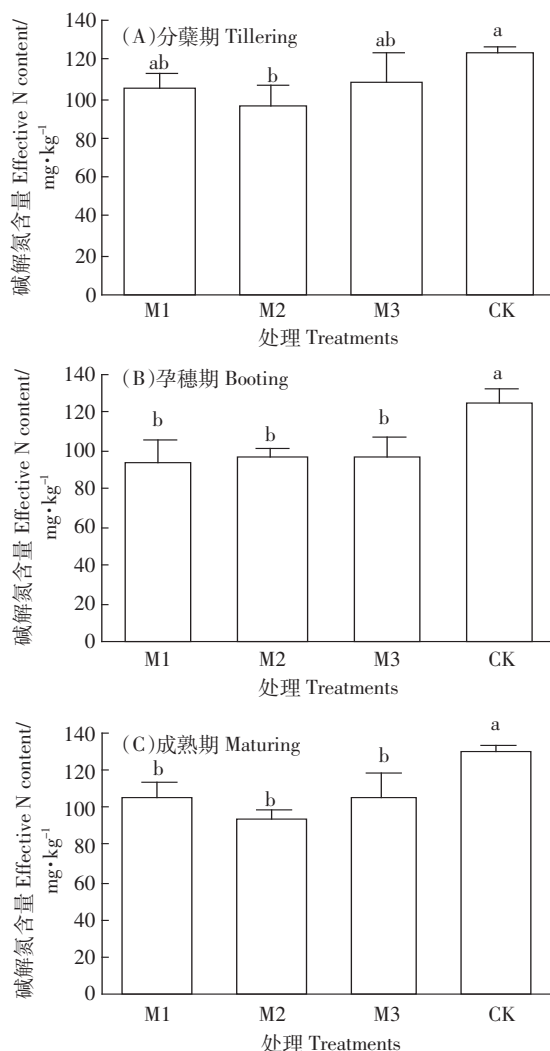


图 2 不同分子量 LMWPE 对小麦盆栽土壤碱解氮含量的影响
Figure 2 The change of effective nitrogen contents in potted wheat soil mixed with LMWPE of different molecular weight

21.26%(图 2A),孕穗期 M1~M3 处理显著降低 23.1%~24.0%(图 2B),成熟期 M1~M3 处理显著降低 19.21%~28.7%(图 2C),但该 3 个生育期 M1~M3 处理之间差异均不显著,这一结果与不同分子量 LMWPE 对土壤全氮含量(图 1)影响的变化具有一致性。

2.3 不同分子量 LMWPE 对土壤脲酶活性影响

脲酶广泛存在于土壤中,催化土壤中的尿素分解生成氨、CO₂ 和水,对氮素利用率及促进土壤氮素循环具有重要作用,其活性大小与土壤供氮能力的强弱密切相关^[16]。由图 3 可见,与 CK 比较,小麦分蘖期土壤脲酶活性 M3 处理显著降低 34.46%,拔节期、孕穗期、开花期、灌浆期 M2、M3 土壤脲酶活性显著降低 40%~55%,但各处理之间其活性变化无显著差异。表明不同分子量 LMWPE 在一定程度上抑制土壤脲酶的活性,其中以拔节期至灌浆期 M2、M3 处理最为显著,说明土壤脲酶活性变化对 LMWPE 分子量大于 5000 的农膜残留物具有较强的敏感性,这一结果与杜天庆等^[17]的研究结果基本一致,可能与小麦根系活力有关。

2.4 不同分子量 LMWPE 对土壤蛋白酶活性的影响

由表 2 可知,小麦不同生育期土壤蛋白酶活性与 CK 比较的差异均未达显著水平($P>0.05$),表明不同

分子量 LMWPE 对土壤蛋白酶活性影响较小。

2.5 土壤氮含量与土壤酶活性相关性分析

采用双尾检验法进行相关性分析,并用 Pearson 相关系数及双尾检验值来判断各变量之间的相关性强度^[18]。由表 3 可见,小麦各生育期土壤脲酶活性与土壤全氮含量呈显著($P<0.05$)或极显著($P<0.01$)正相关,且相关性强度表现为孕穗期>灌浆期>开花期>拔节期>成熟期;与土壤碱解氮含量之间大都呈显著或极显著的正相关性,其中以灌浆期的相关性最强。土壤蛋白酶活性与全氮含量在拔节期、孕穗期、灌浆期表现为极显著正相关性,且关联系数较大;与碱解氮含量则在拔节期至灌浆期呈显著或不显著正相关性,其中以开花期的相关性最强。结果表明,土壤全氮、碱解氮含量与两种关键酶活性变化存在较强的正相关性,小麦同一生育期土壤脲酶活性与土壤氮含量的关联度大于土壤蛋白酶。

3 讨论

随着农业生产中大量推广使用塑料农膜,农田生态系统出现了越来越严重的“白色污染”。研究表明,普通塑料膜残体主要遗留在土表下约 30 cm 耕作层中,已呈现对环境明显的负面影响,如破坏土壤结构,

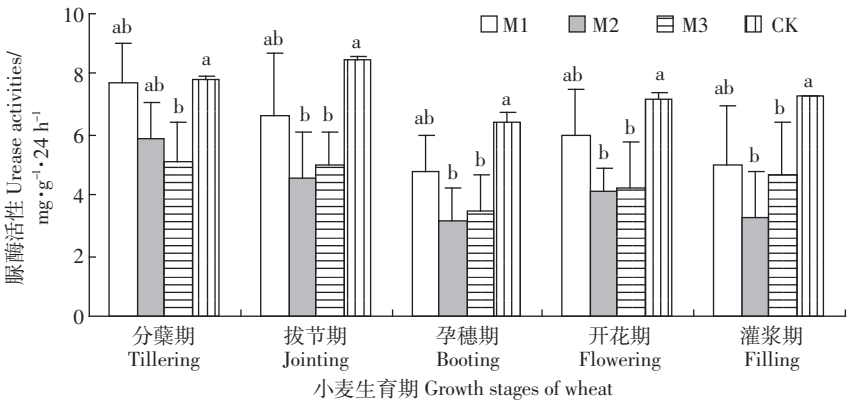


图 3 不同分子量 LMWPE 对小麦主要生育期盆栽土壤脲酶活性的影响

Figure 3 The change of urease activities in potted wheat soil mixed with LMWPE of different molecular weight

表 2 不同分子量 LMWPE 对盆栽小麦不同生育期土壤蛋白酶活性的影响($\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}\cdot 24\text{h}^{-1}$)

Table 2 Effect of LMWPE with different molecular weight in potted-soil on protease activity in different growth stages of wheat($\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}\cdot 24\text{h}^{-1}$)

处理 Treatments	小麦生育期 Growth stage of wheat					
	分蘖期 Tillering	拔节期 Jointing	孕穗期 Booting	开花期 Flowering	灌浆期 Filling	成熟期 Maturing
M1	166.39±18.22a	127.01±11.75a	184.79±21.38a	76.40±11.26a	139.00±10.99a	238.48±17.25a
M2	161.89±6.01a	129.58±7.04a	183.25±18.53a	67.21±9.87a	129.39±9.04a	217.75±12.74a
M3	156.40±17.59a	124.48±26.81a	181.81±16.21a	72.51±14.51a	134.80±16.37a	235.64±15.96a
CK	154.20±3.18a	129.17±0.94a	188.14±9.36a	68.42±4.91a	134.45±12.22a	210.82±6.88a

表 3 不同分子量 LMWPE 处理下小麦各生育期土壤中氮与两种酶活性的相关性分析

Table 3 The correlation analysis between nitrogen contents and activities of urease and protease in potted-soil mixed with LMWPE of different molecular weight in different growth stages of wheat

生育期 Growth stage	土壤氮 Soil nitrogen	脲酶活性 Urease activities		蛋白酶活性 Protease activities	
		相关性 Correlation	显著性 Sig.(2-tailed)	相关性 Correlation	显著性 Sig.(2-tailed)
分蘖期 Tillering stage	全氮 Total nitrogen	0.532*	0.023	0.245	0.328
	碱解氮 Effective nitrogen	0.484*	0.042	0.143	0.572
拔节期 Booting stage	全氮 Total nitrogen	0.795**	0.000	0.737**	0.000
	碱解氮 Effective nitrogen	0.686**	0.002	0.561*	0.015
孕穗期 Booting stage	全氮 Total nitrogen	0.849**	0.000	0.637**	0.004
	碱解氮 Effective nitrogen	0.731**	0.001	0.477*	0.045
开花期 Flowering stage	全氮 Total nitrogen	0.807**	0.000	0.092	0.716
	碱解氮 Effective nitrogen	0.430	0.075	0.659**	0.003
灌浆期 Filling stage	全氮 Total nitrogen	0.836**	0.000	0.599**	0.009
	碱解氮 Effective nitrogen	0.764**	0.000	0.489*	0.040
成熟期 Maturing stage	全氮 Total nitrogen	0.484*	0.042	0.013	0.958
	碱解氮 Effective nitrogen	0.663**	0.003	0.051	0.840

注: * $P < 0.05$, ** $P < 0.01$ 。Note: * correlation is significant ($P < 0.05$), ** correlation is extremely significant ($P < 0.01$).

阻碍植物根系生长和水肥运移,影响农作物正常生长,导致减产等现象^[19]。众多研究者从不同角度、不同层面就农膜残体对土壤物理性质、土壤农化性质开展研究,所得结果不尽一致。尉海东等^[20]研究表明,农膜残留物对土壤容重、土壤团聚体含量、土壤有机质含量和氮磷钾含量、土壤微生物量等存在显著降低的环境效应。也有研究提出,残膜碎片 $<16\text{ cm}^2$ 时不会对土壤物理性质及作物生长产生有害影响,甚至会对作物生长有利^[21-22]。土壤氮含量易受外界多种因素的影响,如施肥、土地耕作方式等^[23-24]。本研究结果显示,在小麦盆栽土壤中添加粉末状低分子量聚乙烯(LMWPE),小麦分蘖期、孕穗期、开花期时土壤全氮含量显著低于CK(图1),但不同分子量LMWPE处理之间的差异未达显著水平,土壤碱解氮含量亦表现相似的变化趋势(图2),说明可降解农膜降解后形成的低分子量残留物在一定程度上具有降低土壤氮含量,抑制土壤氮活性的环境效应,可能导致土壤供氮能力不足而难以满足小麦生长旺盛期对土壤氮素的需求。王清奎等^[25]研究表明,土壤中活性有机质(包括轻组有机质、易矿化碳、易浸提碳水化合物等)可促进土壤氮、磷、硫周转,与土壤全氮、碱解氮含量呈正比。据此推测,本研究所用添加物LMWPE以及环境可降解地膜低分子量残留物均为典型的惰性有机物,可能影响土壤中活性有机质的适时补充和土壤氮素的周转速率或能力,导致土壤氮含量不同程度降低。

土壤酶活性反映了土壤中进行的各种生物化学过程的动向和强度,其活性改变将影响土壤养分释放,对土壤肥力的形成和提高以及对土壤生态系统的物质循环具有重要意义。土壤脲酶和蛋白酶活性与土壤氮素营养转化状况有极其重要的关系^[26]。脲酶是唯一对尿素在土壤中的转化及作用有重大影响的关键酶,当尿素施入土壤后,脲酶将其水解为铵态氮,才能被作物吸收利用。蛋白酶是广泛存在于土壤中的一大酶类,能将各种蛋白质及肽类等化合物水解为氨基酸供作物吸收利用。土壤脲酶对污染物较敏感,伴随土壤重金属污染加剧,脲酶活性显著降低^[27]。除草剂、杀虫剂、杀菌剂等不同类型化学农药对土壤脲酶活性的影响呈现多样性,其中大多数起着抑制作用,这与农药的作用机理有关,但也有部分农药能够激活土壤脲酶活性^[28-30]。本研究显示,土壤脲酶活性对LMWPE极为敏感,小麦拔节期、灌浆期,分子量为5000~100 000的LMWPE处理的脲酶活性比CK显著降低约50%,土壤蛋白酶活性则不受LMWPE处理的显著影响;相关性分析进一步表明,土壤脲酶和蛋白酶活性均与土壤全氮、碱解氮之间存在正相关性,小麦同一生育期土壤脲酶与土壤氮含量的相关性强度大于蛋白酶(表3),表明土壤脲酶比蛋白酶更适合用于环境降解地膜降解残留物对土壤氮素转化影响的评估指标。因此,可采用土壤脲酶活性来表征农田生态系统中农膜污染程度及其动态变化。

脲酶活性变化对土壤氮素利用更像是一把双刃剑。脲酶活性过低,势必会影响尿素利用率;脲酶活性过高,则导致铵态氮挥发增加及铵态氮的硝化作用加强。倪秀菊等^[31]指出,北方旱作土壤中施入的铵态氮肥和酰胺态氮肥在土壤中1~2周后就会转化为硝态氮,淋洗到深层土壤和地下水中,进一步造成地下水污染,研究如何控制土壤中铵态氮的硝化作用对减少土壤过量硝态氮残留所造成的氮素损失及环境污染具有重要意义。其解决途径之一是恰当使用脲酶抑制剂,既可抑制尿素水解速度,又能减少铵态氮的挥发和硝化。多种有机和无机化合物均可作为脲酶抑制剂,其抑制机理有5个方面,其中疏水性物质作为脲酶抑制剂的主要原因是降低了尿素的水溶性,减慢尿素水解速率^[31-32]。本研究所用的土壤添加物LMWPE显著降低了土壤氮含量和脲酶活性,可能主要与LMWPE的强疏水性有关。

除LMWPE存在状态(分子量大小)影响土壤氮素转化外,LMWPE在土壤中的累积量对环境和农作物生长代谢的影响备受关注,其研究结果将另文发表。

4 结论

不同分子量LMWPE(2000~100 000)添加在小麦盆栽土壤中,小麦拔节期、孕穗期、开花期和灌浆期土壤全氮和碱解氮含量显著降低,土壤脲酶活性亦明显减弱。环境降解地膜降解后形成的粉末状残留物在一定程度上表现为抑制土壤氮素转化的环境生物学效应。由此看来,以LMWPE为原料研制的可降解地膜的环境安全性有待进一步研究和评估。

参考文献:

- [1] 黎先发. 可降解地膜材料研究现状与进展[J]. 塑料, 2004, 33(1): 76-81.
- [2] LI X F. Study status on degradable mulching film[J]. *Plastics*, 2004, 33(1): 76-81.
- [3] Chen J H, Wang P, Meng L H, et al. Study on new starch-filled plastic films[J]. *Materials Science & Technology*, 2006, 14(5): 482-485.
- [4] Finkenzstadt V, Tisserat B. Poly(lactic acid) and Osage orange wood fiber composites for agricultural mulch films[J]. *Industrial Crops and Products*, 2009, 31(2): 316-320.
- [5] Koutny M, Amato P, Muchova M, et al. Soil bacterial strains able to grow on the surface of oxidized polyethylene film containing prooxidant additives[J]. *International Biodeterioration & Biodegradation*, 2009, 63: 354-357.
- [6] Bonhomme S, Cuer A, Delort A M, et al. Environmental biodegradation of polyethylene[J]. *Chemosphere*, 2007, 70: 337-340.
- [7] 韩秋霞, 王庆昭, 张 萌, 等. 改性PE膜的生物可降解性研究[J]. 塑料工业, 2009, 37(10): 48-51.
- [8] HAN Q X, WANG Q Z, ZHANG M, et al. Study on biodegradability of modified PE film[J]. *China Plastics Industry*, 2009, 37(10): 48-51.
- [9] 刘 敏, 黄占斌, 杨玉姣. 可生物降解地膜的研究进展与发展趋势[J]. 中国农学通报, 2008, 2(49): 439-443.
- [10] LIU M, HUANG Z B, YANG Y J. A study on status and developmental trend of biodegradable plastic film[J]. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 2008, 2(49): 439-443.
- [11] 邵平均, 张兴英, 吴文清. 新型LLDPE农膜专用树脂性能和结构研究[J]. 现代塑料和加工应用, 2009, 21(3): 23-25.
- [12] SHAO P J, ZHANG X Y, WU W Q. Study on performance and structure of new special LLDPE resin for agriculture film[J]. *Modern Plastics Processing and Applications*, 2009, 21(3): 23-25.
- [13] 冯武煊, 孙升学, 范变娥, 等. 生物降解树脂农膜在玉米上的应用研究[J]. 西北农业学报, 2004, 13(2): 166-169.
- [14] FENG W H, SUN S X, FAN B E, et al. A study of utilizing the decomposing biological resin film on the maize[J]. *Acta Agriculturae Boreali-occidentalis Sinica*, 2004, 13(2): 166-169.
- [15] 赵爱琴, 李子忠, 龚元石. 生物降解地膜对玉米生长的影响及其田间降解状况[J]. 中国农业大学学报, 2005, 10(2): 74-78.
- [16] ZHAO A Q, LI Z Z, GONG Y S. Effects of biodegradable mulch film on corn growth and its degradation in field[J]. *Journal of China Agricultural University*, 2005, 10(2): 74-78.
- [17] 谢红娥, 李永山, 杨淑巧, 等. 农田残膜对土壤环境及作物生长发育的影响研究[J]. 农业环境科学学报, 2007, 26(增刊): 153-156.
- [18] XIE H E, LI Y S, YANG S Q, et al. Influence of residual film on soil structure, crop growth and development in fields[J]. *Journal of Agro-Environment Science*, 2007, 26(Suppl): 153-156.
- [19] 曹 慧, 孙 辉, 杨 浩, 等. 土壤酶活性及其对土壤质量的指示研究进展[J]. 应用与环境生物学报, 2003, 9(1): 105-109.
- [20] CAO H, SUN H, YANG H, et al. A review soil enzyme activity and its indication for soil quality[J]. *Chin J Appl Environ Biol*, 2003, 9(1): 105-109.
- [21] 陆 欣. 土壤肥科学[M]. 北京: 中国农业大学出版社, 2002.
- [22] LU X. Soil fertilizer science[M]. Beijing: China Agricultural University Press, 2002.
- [23] 杨剑虹. 土壤农化分析[M]. 北京: 中国大地出版社, 2008.
- [24] YANG J H. The analytical method of soil agricultural chemistry[M]. Beijing: China Land Press, 2008.
- [25] 关松荫. 土壤酶及其研究方法[M]. 北京: 农业出版社, 1986.
- [26] GUAN S Y. Soil enzyme and its research methods[M]. Beijing: Agriculture Press, 1986.
- [27] 曹承锦, 张志明, 周礼恺. 几种土壤蛋白酶活性测定方法的比较[J]. 土壤通报, 1982, 13(2): 39-40.
- [28] CAO C M, ZHANG Z M, ZHOU L K. Comparison study on several protease activity determination method[J]. *Chinese Journal of Soil Science*, 1982, 13(2): 39-40.
- [29] 杜天庆, 苗果园. 豆科牧草根际土壤脲酶活性的研究[J]. 中国生态农业学报, 2007, 15(1): 25-27.
- [30] DU T Q, MIAO G Y. Study on urease activity of rhizosphere soil of

- legume[J]. *Chinese Journal of Eco-Agriculture*, 2007, 15(1):25-27.
- [18] 刘大海. SPSS 15.0 统计分析从入门到精通[M]. 北京:清华大学出版社, 2008.
- LIU D H. SPSS 15.0 statistical analysis from newcomer to master[M]. Beijing: Qinghua University Publishing Press, 2008.
- [19] 何文清, 严昌荣, 赵彩霞, 等. 我国地膜应用污染现状及其防止途径研究[J]. 农业环境科学学报, 2009, 28(3):533-538.
- HE W Q, YAN C R, ZHAO C X, et al. Study on the pollution by plastic mulch film and its countermeasures in China[J]. *Journal of Agro-Environment Science*, 2009, 28(3):533-538.
- [20] 尉海东, 伦志磊, 郭峰. 残留农膜对土壤性状的影响[J]. 生态环境, 2008, 17(5):1853-1856.
- WEI H D, LUN Z L, GUO F. Effects of mulch film residues on soil properties[J]. *Ecology and Environment*, 2008, 17(5):1853-1856.
- [21] 金维续, 张文群, 程桂荪, 等. 光降解地膜的农业效果与降解过程(II):土壤污染研究及环境评价[J]. 农业环境保护, 1995, 14(5):219-223.
- JIN W X, ZHANG W Q, CHENG G S, et al. Agriculture effect & degradation mechanism of photodegradable plastic mulches(II): Research of soil pollution and environment valuationersity [J]. *Agro-environmental Protection*, 1994, 14(5):219-223.
- [22] 程桂荪, 刘小秋, 高松. 光降解地膜小残片积累量对土壤性质和作物产量的影响[J]. 土壤肥料, 1993(2):14-17.
- CHENG G S, LIU X Y, GAO S. Effects of photo-degradable mulch film small residues accumulation on soil properties and crop yield[J]. *Soils and Fertilizers*, 1993(2):14-17.
- [23] 雍太文, 杨文钰, 向达兵, 等. 不同种植模式对土壤氮素转化及酶活性的影响[J]. 应用生态学报, 2011, 22(12):3227-3235.
- YONG T W, YANG W Y, XIANG D B, et al. Effects of different planting modes on soil nitrogen transformation and related enzyme activities [J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2011, 22(12):3227-3235.
- [24] 朱宝国, 张春峰, 于忠和, 等. 控释尿素和普通尿素配施对土壤氮含量及大豆产量和品质影响[J]. 中国农学通报, 2012, 28(18):140-143.
- ZHU B G, ZHANG C F, YU Z H, et al. Effect of combined application of controlled release urea and common urea on soil nitrogen content and yield and quality of soybean[J]. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 2012, 28(18):140-143.
- [25] 王清奎, 汪思龙, 冯宗炜, 等. 土壤活性有机质及其与土壤质量的关系[J]. 生态学报, 2005, 25(3):513-519.
- WANG Q K, WANG S L, FENG Z W, et al. Active soil organic matter and its relationship with soil quality[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2005, 25(3):513-519.
- [26] 杜伟文, 欧阳中万. 土壤酶研究进展[J]. 湖南林业科技, 2005, 32(5):76-80.
- DU W W, OUYANG Z W. A review of soil enzymes[J]. *Hunan Forestry Science & Technology*, 2005, 32(5):76-80.
- [27] Gao Yang, Zhou Pei, Mao Liang, et al. Effects of plant species coexistence on soil enzyme activities and soil microbial community structure under Cd and Pb combined pollution[J]. *Journal of Environmental Sciences*, 2010, 22(7):1040-1048.
- [28] 谢勇波, 周清明, 龚道新. 不同化学农药对土壤脲酶活性的影响[J]. 湖南农业科学, 2010(3):63-65.
- XIE Y B, ZHOU Q M, GONG D X. Effects of different chemical pesticides on activity of soil urease[J]. *Hunan Agricultural Sciences*, 2010(3):63-65.
- [29] 彭星, 刘嫦娥, 段昌群, 等. 四种除草剂对土壤脲酶活性的影响研究[J]. 现代农药, 2009, 8(6):31-36.
- PENG X, LIU C E, DUAN C Q, et al. Effect of four herbicides on urease activity in soil[J]. *Modern Agrochemicals*, 2009, 8(6):31-36.
- [30] 杨春璐, 孙铁珩, 和文祥, 等. 农药对土壤脲酶活性的影响[J]. 应用生态学报, 2006, 17(7):1354-1356.
- YANG C L, SUN T H, HE W X, et al. Effects of pesticides on soil urease activity[J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2006, 17(7):1354-1356.
- [31] 倪秀菊, 李玉中, 徐春英, 等. 土壤脲酶抑制剂和硝化抑制剂的研究进展[J]. 中国农学通报, 2009, 25(12):145-149.
- NI X J, LI Y Z, XU C Y, et al. Advance of research on urease inhibitor and nitrification inhibitor in soil[J]. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 2009, 25(12):145-149.
- [32] 王天元, 宋雅君, 滕鹏起. 土壤脲酶及脲酶抑制剂[J]. 化学工程师, 2004(8):22-24.
- WANG T Y, SONG Y J, TENG P Q. The urease of the soil and the inhibitor of urease[J]. *Chemical Engineer*, 2004(8):22-24.