

肖昱承,杜彦磊,周永贤,等.微塑料添加对小麦苗期生长及干物质分配的影响[J].中国沙漠,2023,43(1):142-149.

# 微塑料添加对小麦苗期生长及干物质分配的影响

肖昱承<sup>a</sup>,杜彦磊<sup>abc</sup>,周永贤<sup>b</sup>,韦利雪<sup>b</sup>,次旺曲措<sup>a</sup>

(兰州大学 a.生态学院, b.生命科学学院, c.草地农业生态系统国家重点实验室, 甘肃 兰州 730000)

**摘要:** 土壤环境中微塑料污染已成为全球关注的环境问题。关于微塑料对于植物生长的直接影响和由于土壤理化性状改变的间接影响研究已逐步开展,但针对小麦的研究鲜见报道。试验选择两个旱地小麦品种(甘春27和禾尚头)作为研究对象,选取高密度聚乙烯作为微塑料添加,设置3种质量浓度(0、1、4 g·kg<sup>-1</sup>)开展盆栽试验,对不同微塑料组合处理下小麦的出苗率、株高、全株生物量和地上/地下干物质分配进行了分析。结果表明:(1)微塑料添加对两个品种出苗率没有影响。(2)禾尚头在添加1 g·kg<sup>-1</sup>微塑料时比添加0、4 g·kg<sup>-1</sup>时全株生物量分别高46.7%、8.5%,甘春27在添加1 g·kg<sup>-1</sup>微塑料时比添加0、4 g·kg<sup>-1</sup>时全株生物量分别高28.7%、17.2%;甘春27整体比禾尚头在3种浓度处理下全株生物量分别高24.9%、9.6%、1.5%。(3)不同试验处理条件下,甘春27将更多的干物质分配在地上植株的构建,其在地下(根系)和地上(茎叶)部分的分配比例整体小于禾尚头。整体上,适度微塑料添加可通过改善土壤环境促进小麦生长和干物质积累;而较高的小麦生物量和地上/地下干物质比值说明,甘春27比禾尚头在应对微塑料胁迫时,具有更强的抗逆性。

**关键词:** 微塑料; 小麦; 盆栽试验; 幼苗生长; 干物质分配

**文章编号:** 1000-694X(2023)01-142-08

**DOI:** 10.7522/j.issn.1000-694X.2022.00081

**中图分类号:** S512.1

**文献标志码:** A

## 0 前言

近年来,微塑料作为一种新型的环境污染物,普遍存在于陆地和海洋生态系统中。学者最早将粒径<5 mm的塑料碎片或颗粒定义为微塑料,其具有较小粒径、大的比表面积、稳定的化学性质、较强的吸附能力等特点<sup>[1-2]</sup>,对生态环境造成重大影响,已成为全世界广泛关注的环境问题<sup>[3-7]</sup>。

土壤微塑料的主要来源包括农用塑料薄膜残留、遮阳网、化肥农药包装、污泥的利用、有机肥施用、地表径流、污水灌溉和大气沉降等<sup>[7-11]</sup>。根据微塑料的主要组成,可分为聚乙烯(PE)、聚丙烯(PP)、聚苯乙烯(PS)、聚氯乙烯(PVC)、聚乳酸(PLA)及聚对苯二甲酸乙二酯(PET)等聚合物。根据统计,到2017年为止,中国农膜使用量高达252.8万t,约占世界总量70%,地膜覆盖面积近1.77×10<sup>7</sup> hm<sup>2</sup>,为世

界总覆盖面积的90%<sup>[3,12-13]</sup>。微塑料会影响土壤的结构和理化性质,其在土壤中的积累、迁移、风化和降解过程,以及与金属和有机污染物的相互作用及其环境效应<sup>[8,14]</sup>,都会对植物和动物的生长发育造成影响。

微塑料对于植物生长的影响,一方面在于对土壤生态的损害,如对土壤结构、理化性质、微生物群落、土壤动物等<sup>[15-18]</sup>。另一方面,由于微塑料对植物种孔和根须表层的物理阻塞会降低其发芽率或阻碍根的生长和发育<sup>[19-20]</sup>。廖苑辰等<sup>[19]</sup>研究表明高浓度聚苯乙烯荧光微球(Fluorescent polystyrene microspheres, PS-MPs)显著抑制小麦的根茎生长;李瑞杰等<sup>[21]</sup>发现亚微米级聚苯乙烯(Polystyrene, PS)塑料微球能被小麦吸收进入根部外皮层质外体空间和维管组织;连加攀等<sup>[22]</sup>研究表明低中浓度的微塑料(<500 mg·L<sup>-1</sup>)抑制小麦种子的萌发;Boots等<sup>[17]</sup>

收稿日期:2022-04-14; 改回日期:2022-05-13

资助项目:兰州大学学生创新创业行动计划项目(20210180007)

作者简介:肖昱承(2001—),男,甘肃兰州人,本科生,生态学专业。E-mail: xiaoych19@lzu.edu.cn

通信作者:杜彦磊(E-mail: yanleidu@lzu.edu.cn)

基于多年生黑麦草和蚯蚓的模拟系统证明了黑麦草和蚯蚓在微塑料胁迫下会分别表现出根系生物量增大和生物量普遍下降的现象。此外,微塑料也会与重金属等污染物产生协同作用对植物生长产生不利影响<sup>[8]</sup>。这些因素都将对农业生产和农产品质量带来风险挑战。多名学者利用不同类型、粒度微塑料添加试验,开展了土培和水培条件下小麦不同生育期发芽、生物量等生长指标<sup>[22-23]</sup>,叶片可溶性蛋白含量、抗氧化酶和淀粉酶活性生理生化指标<sup>[24]</sup>,以及土壤理化性质<sup>[25]</sup>影响研究。

在中国西北干旱区,地膜覆盖、小拱棚、塑料日光温室和一次性滴灌带使用等已成为农业耕作最主要和普遍的方式,从而使得农田土壤成为了微塑料的重要聚集地。旱地春小麦是西北干旱区雨养农业中主要粮食作物,关系到区域粮食安全。目前学术界对不同小麦品种的相关微塑料污染影响还未见报道。不同的小麦品种对微塑料的耐受性或生理响应如何?微塑料污染对不同旱地小麦品种生长发育的影响是否存在差异?是一个值得探讨的科学问题。

本文拟通过微塑料土壤添加盆栽试验,研究不同水平微塑料污染对两个旱地春小麦品种苗期生长及地上地下生物量分配的影响,以期揭示微塑料添加对西北干旱半干旱区小麦生长的影响机制及不同品种的抗逆性对策等,为微塑料在作物-土壤生态系统中的风险评估和抗逆性品种选择提供科学依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 供试材料

#### 1.1.1 供试土壤与处理

试验土壤为混合土壤,由田间表层土壤、无磷砂、蛭石三者按照1:2:1的比例混合,混合后土壤质地为壤土。土壤于2021年7月采自兰州大学草地农业生态国家重点实验室前一块农业用地的表层土壤(0~10 cm),无磷砂和蛭石为市场购买。田间土壤经过自然风干后捞出肉眼可见的动植物残渣、塑料碎片以及石块等,之后用5 mm筛网将土壤过筛备用混合。

#### 1.1.2 供试种子与处理

试验小麦种子选取甘春27和禾尚头两个品种。禾尚头是经自然选择选育的、黄土高原区旱砂地种

植的特有优质春小麦品种,尤其在甘肃省皋兰北山干旱地区。该品种具有发达的根系、成活率高和极强的抗旱、耐瘠薄、耐盐碱性能力,旱砂地平均单产约1 500 kg·hm<sup>-2</sup>。甘春27为甘肃农业大学杂交选育的适合黄土高原种植的优质高产旱地春小麦品种,平均单产约3 750 kg·hm<sup>-2</sup>。

试验前,选择籽粒饱满的小麦种子,进行浸泡催芽,以备播种。

#### 1.1.3 微塑料的选取与处理

微塑料选择高密度聚乙烯(High Density Polyethylene, HDPE),购自某塑料制品有限公司,塑料为未加工的颗粒状形态,粒径为1 000 μm。

#### 1.1.4 营养液的配置与施用

为保证小麦幼苗有充足的养分,在种植试验前,每盆配置营养液(1.56 g磷酸二氢钾和3.64 g硝酸铵溶于1 L水中),一次性施于供试培养土中。

### 1.2 试验设计及采样

本试验于2021年8—10月在兰州大学草地农业生态系统国家重点实验室大棚内进行,本试验设置1种微塑料类型(HDPE)和3种质量浓度(0、1、4 g·kg<sup>-1</sup>),小麦选择两个品种(甘春27和禾尚头),共计6种处理,每个处理方式重复24次。每种处理下利用供试土壤6.5 kg,按比例将塑料添加到土壤中,用搅拌机充分均匀混合,置于塑料花盆(上直径20.8 cm,下直径18.2 cm,高23.7 cm)中。播种前每盆浇营养液,将处理好的小麦种子于8月24日播种在处理好的花盆中,每盆点4穴,每穴播入两粒种子,于9月4日进行间苗,保证每穴内只有1株小麦幼苗,定期浇水至田间持水量。之后分别于9月11日(18 d)、9月17日(24 d)、9月22日(29 d)、9月29日(36 d)、10月5日(41 d)、10月10日(47 d)共计6次采集样品,每次采集一个品种同一微塑料浓度处理下的小麦样品4盆,每盆中小麦的地上和地下部分分装在信封中,标号备用。试验期基本为出苗至拔节孕穗期前,因此整体上称为苗期。

### 1.3 测定指标及方法

为了分析不同微塑料处理对小麦生长的影响,在小麦播种后11 d统计小麦出苗率,以后定期测量不同处理的幼苗株高、地上(茎叶)和地下(根系)部分的生物量。

同一盆的小麦在采集之后,先将地上和地下部

分分离,再将根系表面附着的土去除,用信封封装标记后,在 80 °C 的烘箱内烘干 48 h 至恒重,称重。

#### 1.4 数据处理与分析方法

试验基于原始调查数据,选取和计算出苗率、株高、全株生物量和单株地下/地上生物量比值等指标参数,利用 Excel 2019、SPSS 26 和 R 4.1.2 语言等软件对试验数据进行统计分析和方差分析,并绘制相应图件,最终进行微塑料添加对小麦苗期生长指标影响的分析。生长曲线图采取平滑曲线的拟合方式,能够很好地拟合植物生长的缓慢过程;生长策略图采用一元线性拟合,反映小麦生物量分配的情况。各参数中,幼苗高度测量自然状态下的株高;全株生物量为地上(茎叶)和地下(根系)部分生物量的总和,代表了小麦生产力水平;单株地下/地上生物量比值指示了小麦生物量在根系和茎叶不同器官之间的分配情况。针对此试验的两个变量品种和浓度,为探究变量间的交互作用,对试验最后一次采集的数据进行双因素方差分析。

## 2 结果与分析

### 2.1 微塑料添加对小麦出苗的影响

出苗统计结果表明,添加  $1\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$  浓度微塑料处理出苗率最高,添加  $0\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$  浓度微塑料处理出苗率最低;禾尚头品种出苗率整体高于甘春 27 品种;但出苗率在品种和微塑料添加处理之间均无显著性差异(表 1)。

表 1 不同品种和微塑料添加处理下小麦种子的出苗率  
Table 1 Seedling emergence rate of two wheat varieties under the micro plastic addition treatments

小麦品种	微塑料的质量浓度/( $\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ )	出苗率/%
甘春 27	0	91.67
	1	98.96
	4	93.75
禾尚头	0	93.75
	1	98.96
	4	96.88

### 2.2 微塑料添加对小麦生长的影响

#### 2.2.1 微塑料添加对甘春 27 生长发育的影响

不同微塑料添加处理中,甘春 27 株高在

$1\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$  处理条件下最大,其次是  $4\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$  处理,  $0\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$  处理株高最小(图 1)。除播种后 36 d 样本外,其他时期  $1\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$  处理与  $0\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$  处理株高均具有显著性差异( $P<0.05$ );  $1\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$  处理与  $4\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$  处理之间,除 47 d 样本两处理间存在显著差异外,其他时期样本间均无显著性差异;而  $0\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$  与  $4\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$  处理之间,除 36 d 和 47 d 两处理间无显著差异外,其他时期样本间均存在显著性差异。

全株生物量的大小也与株高基本一致,以  $1\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$  处理条件下最大,其次是  $4\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$  处理,  $0\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$  处理最小。但除播种后 18 d 和 41 d,  $0\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$  处理与其他两个处理样本存在显著性差异外,其他时期的各处理间均无差异(图 1)。

在地下/地上生物量比值方面,基本以  $0\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$  处理下最大(除播种后 18 d 和 47 d),其次为  $4\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$  处理。差异显著性仅存在于播种后 47 d 的  $1\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$  和  $4\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$  处理之间(图 1)。

#### 2.2.2 微塑料添加对禾尚头品种苗期生长发育的影响

微塑料添加处理,对禾尚头品种株高影响基本与甘春 27 品种类似,即以  $1\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$  处理条件下最大,其次是  $4\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$  处理。差异显著性主要表现在播种后 29 d 和 41 d 的  $0\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$  和  $1\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$  处理之间,播种后 18、29 d 和 41 d 的  $1\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$  和  $4\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$  处理之间,以及 36 d 和 47 d 的  $0\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$  和  $4\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$  处理之间(图 1)。

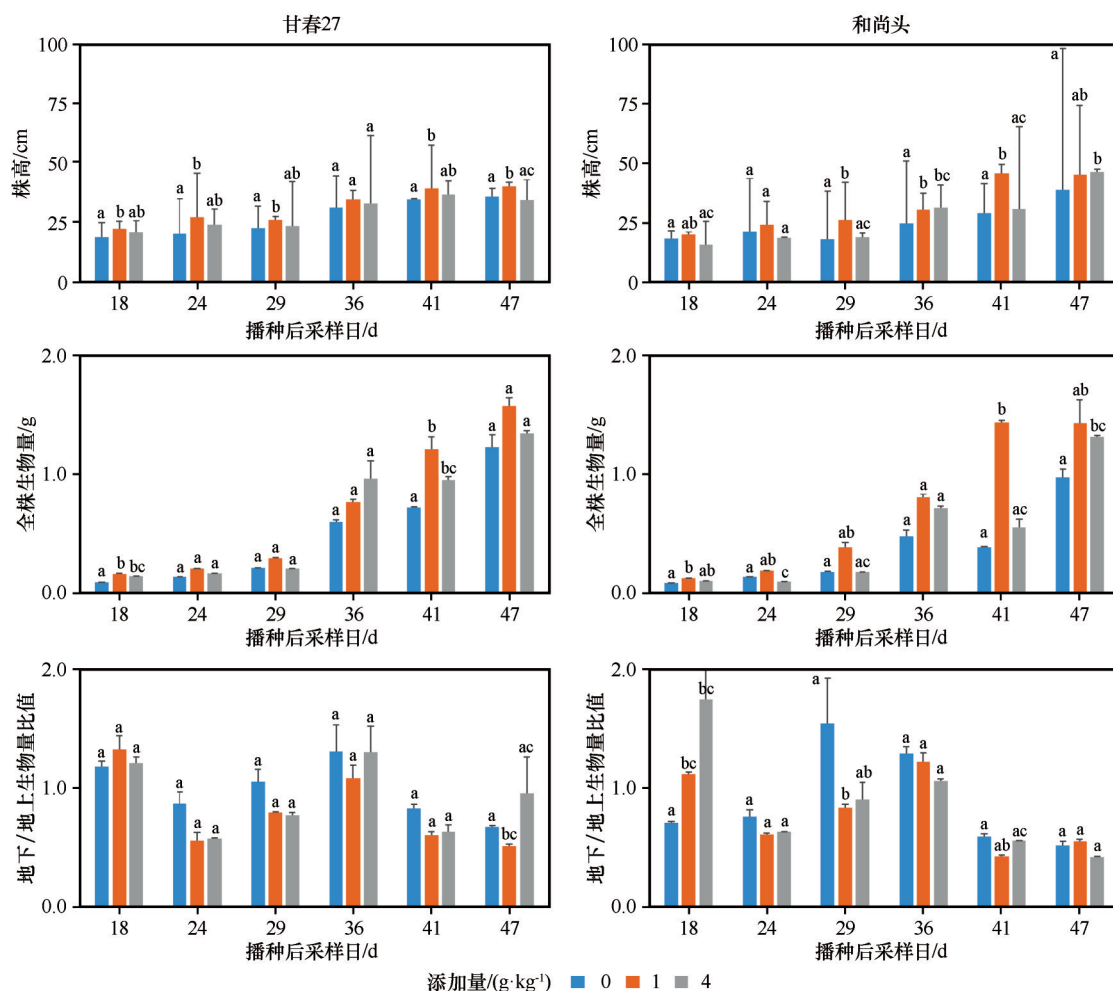
对于全株生物量的影响,以  $1\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$  处理条件下最大,其次是  $4\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$  处理。 $1\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$  处理,在播种后 18 d 和 41 d 与  $0\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$  处理存在显著差异,在 24、29 d 和 41 d 与  $4\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$  处理存在显著差异; $0\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$  与  $4\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$  处理在 24 d 和 47 d 样本间存在显著差异(图 1)。

地下/地上生物量比值,在 3 个微塑料添加处理和不同阶段表现不一致。显著差异性主要体现在  $0\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$  与  $4\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$  处理的播种后 18 d 和 29 d 样本之间,  $0\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$  与  $1\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$  处理的播种后 18、29 d 样本之间,以及  $1\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$  和  $4\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$  处理的播种后 41 d 样本之间(图 1)。

#### 2.2.3 微塑料添加对不同小麦品种苗期生长发育的影响

在  $0\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$  添加处理条件下,甘春 27 号在株高、全株生物量和地上/地下生物量比值 3 个指标上多优于禾尚头。株高和全株生物量在播种后 41 d 存





不同字母表示添加量处理间显著差别,  $P < 0.05$

图1 不同微塑料添加对同一品种苗期的株高、全株生物量和地下/地上生物量比值的影响

Fig.1 Effects of different microplastics on plant height, whole plant dry biomass and rate of under-/above-ground biomass of the same wheat variety at its seedling stage

在显著差异,地上/地下生物量比值在播种后18 d和41 d样本存在显著差异(图2)。

在 $1 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 添加处理条件下,两品种在全株生物量和地上/地下生物量比值两个指标上不存在显著差异,但和尚头在不同采样时期的指标多高于甘春27;在株高指标上,两品种在播种后18、36、42 d样本存在显著性差异,但表现不一致,甘春27在18 d和36 d两期样本株高指标优于和尚头品种,而在41 d株高指标低于和尚头品种。

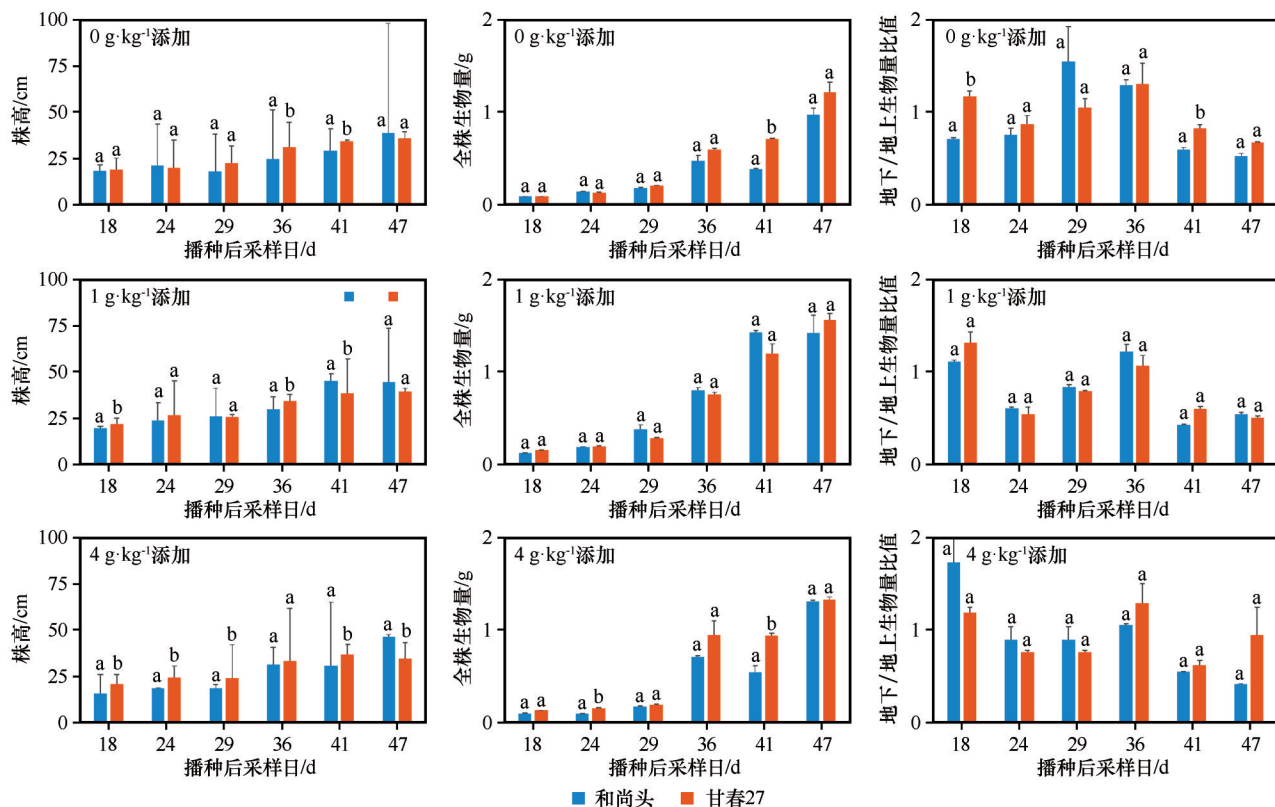
在 $4 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 添加处理条件下,两品种在全株生物量和地上/地下生物量比值两个指标上,除播种后41 d样本全株生物量之间的显著差异外,基本不存在显著差异;和尚头品种在全株生物量指标上多低于甘春27;在株高指标上,除播种后47 d样本外,甘春27株高指标均优于和尚头,且存在显著性差异;

而地下/地上生物量比值指标上,两品种在各阶段的表现并不一致,前三期和尚头高于甘春27,而后三期则反之。甘春27整体比和尚头在3种浓度处理下全株生物量分别高24.9%、9.6%、1.5%

#### 2.2.4 微塑料添加对小麦生长指标的影响

在试验期间,总体上两个品种在3个微塑料添加处理条件下,株高和全株生物量曲线表现出先慢后快类似的增长趋势;但在生长量上,以 $1 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 处理总体优于 $4 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 和 $0 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 处理,和尚头在添加 $1 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 微塑料时比添加 $0 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 和 $4 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 时全株生物量分别高46.7%和8.5%,甘春27在添加 $1 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 微塑料时比添加 $0 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 和 $4 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 时全株生物量分别高28.7%和17.2%; $4 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 处理在整个苗期出现较大的变化。

对同一品种小麦在不同微塑料添加处理的地



不同字母表示添加量处理间显著差别,  $P < 0.05$

图2 微塑料添加对不同品种苗期的株高、全株生物量和地下/地上生物量的影响

Fig.2 Effects of micro plastic addition on plant height, whole plant dry biomass and rate of under-/aboveground biomass of different wheat varieties at its seedling stage

下/地上生物量比值指标一元线性拟合结果可知,在整个试验期,禾尚头品种在  $0 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$  处理的斜率最大( $k=0.55$ ),  $1 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$  处理的斜率最小( $k=0.47$ ),但3种处理之间无显著性差异( $P > 0.05$ );甘春27在  $4 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$  处理的斜率最大( $k=0.94$ ),  $1 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$  处理的斜率最小( $k=0.51$ ),  $0, 4 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$  与  $1 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$  处理之间存在显著性差异( $P < 0.05$ , 图3)。

两个小麦品种在全株生物量和地下部分生物量存在显著性差异( $P < 0.05$ , 表2),微塑料添加浓度在株高和地下部分生物量存在显著性差异( $P < 0.05$ ),而两个变量的交互作用在各项指标中无显著性差异。

### 3 讨论

#### 3.1 微塑料添加对小麦品种出苗和生长的影响

研究结果表明,在试验范围内( $1 \sim 4 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ ,  $1000 \mu\text{m}$  粒度),添加微塑料可明显促进小麦的出苗率、株高和全株生物量;在添加  $1 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$  浓度微塑料时两个小麦品种的出苗率、株高和全株生物量最高;在品种方面,禾尚头的株高和全株生物量大多高于

甘春27。这可能与微塑料的吸附性及对土壤的孔隙度、团聚体、土壤质地等性质改变有关<sup>[24-25]</sup>。在较低浓度下,微塑料增强了对水分与养分的吸附和传输能力,有利于小麦根系吸收<sup>[26-28]</sup>;随着微塑料含量升高,微塑料颗粒在土壤中聚集过多时,会增加土壤孔隙度,降低土壤的持水能力<sup>[15-16]</sup>,加快水分蒸发<sup>[29]</sup>,阻止小麦根系与土壤的紧密接触,进而影响根系对养分、水分的吸收,这些性质的改变势必会影响植物生长<sup>[26]</sup>。Bosker等<sup>[20]</sup>报道了聚苯乙烯微塑料会导致双子叶植物 *Lepidium sativum* 的萌发率降低,可能是由于微塑料颗粒堵塞了种子萌发的气孔,致使种子发芽受阻。吴佳妮等<sup>[30]</sup>研究发现聚苯乙烯纳米塑料对大豆根茎生长呈现“低浓度促进,中高浓度抑制”的现象,这与本研究结果类似;同时  $1 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$  浓度和  $1000 \mu\text{m}$  粒度的微塑料添加对小麦种子的平均发芽抑制率在5%以下<sup>[23]</sup>。连加攀等<sup>[22]</sup>的研究也表明,  $1 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$  浓度微塑料添加对小麦种子发芽具有促进作用。

其他研究表明,纳米级的微塑料粒度会透过细胞壁孔洞被植物吸收,阻碍根系对土壤水分和养分的吸收,比微米级的微塑料粒度能更为明显地抑制

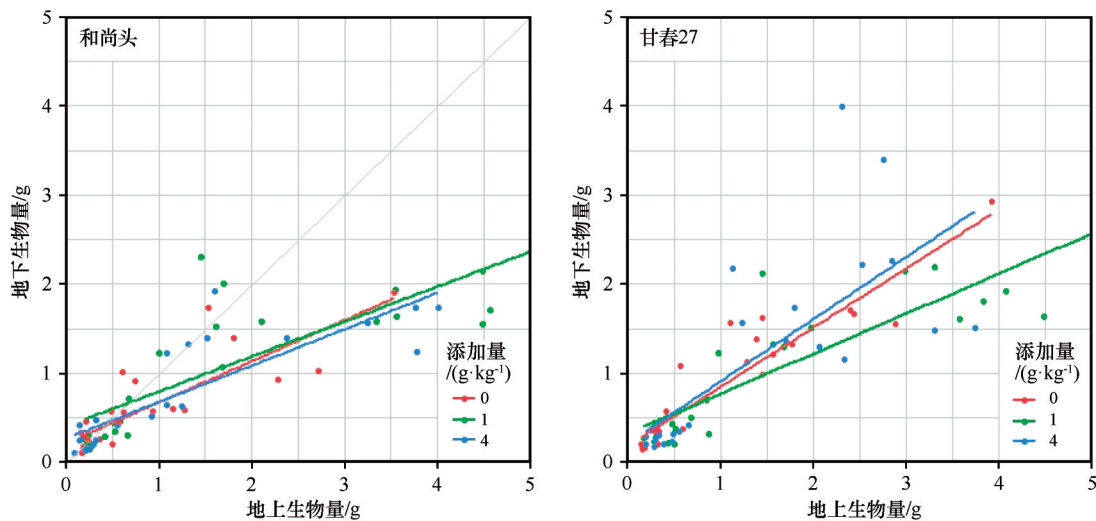


图3 3个微塑料添加处理条件下两个小麦品种苗期生物量分配总体状况

Fig.3 Whole dry biomass allocation of two wheat varieties under three micro plastic addition treatments at seedling stage

表2 双因素方差分析结果				
Table 2 Results of two-factor analysis of variance				
差异源	株高	全株生物量	地上部分生物量	地下部分生物量
品种	0.265	0.001	0.911	0.037
浓度	0.036	0.057	0.024	0.357
品种×浓度	0.739	0.099	0.235	0.434

小麦芽和根的伸长,同时随着浓度增加( $100\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 以内),小麦叶片淀粉酶活力和光合色素含量等生理生化指标具有不同的影响<sup>[19]</sup>。本研究的微塑料粒度在 $1\ 000\ \mu\text{m}$ ,不会进入植物体内参与生理活动,但会影响土壤特性,进而影响植物生理活动。

3.2 小麦苗期干物质分配对微塑料添加的适应策略

植物光合产物分配格局受个体发育和环境因子的共同影响<sup>[31]</sup>。作物生长发育实质即为地上、地下部分关系的外在表现,地下根系与地上冠部的生长特征可反映出根、冠功能。小麦干物质分配,即地下/地上生物量比值的变化,指示了小麦生长对环境胁迫的适应策略。生物量分配是研究植物对环境适应策略的一个重要方向。

在整个生长期,光合产物向根系的分配比例会随其生长阶段逐渐降低<sup>[31]</sup>。旱地小麦在水分条件较好时,生育后期的根系冗余会逐渐减少,将更多的干物质分配到地上茎叶和果实部分。在本试验期间,小麦处于营养生殖和营养与生殖的共进阶段。不同微塑料处理的两个小麦品种在整个试验期均表现出地下/地上生物量比值变小的整体趋势,

而在播种后29~36 d出现增长现象(图1)。在初次采样期,种子萌发先发展根系阶段,后形成地上部分;以后随着地上部光合作用增强,光合产物的积累,导致地下/地上生物量比值降低;其后随着地上部光合作用的进一步增强,再一次促进了地下部根系的生长和相互促进;在营养与生殖的共进阶段,光合产物会偏重于地上部分分配,从而降低了后期地下/地上生物量比值。

一般情况下,植物会将更多的生物量分配用于吸收受限最严重的资源。比如,地下资源限制时,植物会将更多的生物量分配给根系;反之,当地上资源受限制时,会将更多的生物量分配到冠层<sup>[32-33]</sup>。在本试验条件下,微塑料的添加将会改变土壤物理特性的改变。微塑料的适度添加,由于其吸附性适度改善了土壤团聚体结构和质量,相应提高了水分与养分的吸附和传输能力,从而有利于根系对水分与养分吸收,因此促进了不同阶段植株地下、地上生物量分配的有效性。因此,在本试验中, $1\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ 的微塑料添加处理在试验阶段均表现出较小地下/地上生物量比值。 $0\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ 处理由于没有微塑料参与,其土壤团聚体和吸附水分、养分能力较弱; $4\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ 处理由于微塑料浓度较高,增加了土壤孔隙度和水分蒸发能力。因此,其他两个处理,都可能因为降低了水分与养分的吸附和传输能力,造成土壤水分供应和养分传输限制,为抵抗这种限制作用,小麦将更多的干物质分配给了根系,从而表现为相对较大的地下/地上生物量比值。这与Boots等<sup>[17]</sup>的研究结果一致。

通常,具有高的抗旱性和竞争力的作物会有更



高的生物量和较大根系分布范围。本试验期间,地下/地上生物量比值拟合曲线斜率以禾尚头品种在 $1\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ 微塑料添加处理和 $4\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ 微塑料添加处理最低,其次为甘春27品种 $1\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ 微塑料添加处理、禾尚头品种 $0\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ 微塑料添加处理、甘春27品种 $0\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ 微塑料添加处理,最高为甘春27品种 $4\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ 微塑料添加处理。禾尚头品种在3种微塑料添加处理下地下/地上生物量比值拟合曲线斜率较低,说明作为自然选育形成的古老小麦品种禾尚头在应对土壤环境胁迫时的表现更为稳健,换言之,微塑料添加并未造成土壤环境对禾尚头品种生长的胁迫。 $0\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ 和 $4\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ 微塑料添加处理下,甘春27品种均表现出较禾尚头品种更高的地下/地上生物量比值,即将更多的干物质分配给地下部分,以应对土壤环境胁迫;而在 $1\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ 微塑料添加处理下(本试验中认为该处理改善了土壤理化条件),禾尚头则表现出较甘春27较高的地下/地上生物量比值。因此,我们认为甘春27品种在应对微塑料胁迫时,比禾尚头品种具有更强的抗逆性。同时,较之其他两个微塑料添加处理, $1\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ 微塑料添加处理在47 d采样期地下/地上生物量比值最低,说明该处理未对小麦生长造成土壤环境胁迫,相反改善了根系生长的土壤环境,有利于小麦地上部分的生长,促进了营养物质向茎叶的分配,这也为小麦拔节和孕穗奠定物质基础。

## 4 结论与展望

在本试验条件下,微塑料添加对两个品种出苗率没有影响,但适度微塑料添加可通过改善土壤环境促进小麦生长和干物质积累。不同试验处理条件下,干物质在地下(根系)和地上(茎叶)部分的分配变化说明,甘春27品种比禾尚头品种在应对微塑料胁迫时,具有更强的抗逆性。

本试验仅选取了HDPE一种微塑料,且粒径处于微米级以上,今后还需开展其他类型和粒度大小的微塑料添加试验研究;同时,本试验仅观测了苗期的生长状况,对整个生育期及经济产量形成,以及微塑料对土壤性质影响等研究也还需进一步开展,以期整体揭示微塑料添加对作物生长的影响机制及作物的抗逆性对策等。

## 参考文献:

[1] 王志超,孟青,于玲红,等.内蒙古河套灌区农田土壤中微塑

料的赋存特征[J].农业工程学报,2020,36(3):204–209.

- [2] Wright S L, Thompson R C, Galloway T S. The physical impacts of microplastics on marine organisms: a review[J]. Environmental Pollution, 2013, 178: 483–492.
- [3] 徐湘博,孙明星,张林秀,等.土壤微塑料污染研究进展与展望[J].农业资源与环境学报,2021,38(1):1–9.
- [4] Qi Y L, Yang X M, Pelaez A M, et al. Macro-and microplastics in soil-plant system: effects of plastic mulch film residues on wheat (*Triticum aestivum*) growth[J]. Science of the Total Environment, 2018, 645: 1048–1056.
- [5] Wu X L, Lyu X Y, Li Z Y, et al. Transport of polystyrene nanoparticles in natural soils: effect of soil properties, ionic strength and cation type[J]. Science of the Total Environment, 2020, 707: 136065.
- [6] 方芹,牛司平,陈予东,等.城市路面积尘微塑料污染特征[J].环境科学,2022,43(1):189–198.
- [7] 李敏,杨磊,赵方凯,等.城乡景观中土壤生态系统微塑料的来源、迁移特征及其风险[J].生态学报,2022,52(5):1693–1702.
- [8] 张佳佳,陈延华,王学霞,等.土壤环境中微塑料的研究进展[J].中国生态农业学报(中英文),2020,29:937–952.
- [9] Huang T, Liu Q, Jia W, et al. Agricultural plastic mulching as a source of microplastics in the terrestrial environment[J]. Environmental Pollution, 2020, 260: 114096.
- [10] Bläsing M, Amelung W. Plastics in soil: analytical methods and possible sources[J]. Science of the Total Environment, 2018, 612: 422–435.
- [11] Li X, Chen L, Mei Q, et al. Microplastics in sewage sludge from the wastewater treatment plants in China[J]. Water Research, 2018, 142: 75–85.
- [12] 边淑贞,柳晓娟,安子扬,等.我国典型设施蔬菜种植区农用地膜污染分析[J].环境科学与技术,2015,38(11):76–81.
- [13] 靳拓,薛颖昊,张明明,等.国内外农用地膜使用政策、执行标准与回收状况[J].生态环境学报,2020,29(2):411–420.
- [14] 杨杰,李连祯,周倩,等.土壤环境中微塑料污染:来源、过程及风险[J].土壤学报,2021,58(2):18.
- [15] Zhang G S, Zhang F X, Li X T. Effects of polyester microfibers on soil physical properties: perception from a field and a pot experiment[J]. Science of the Total Environment, 2019, 670: 1–7.
- [16] 张飞祥.聚酯微纤维对土壤物理性质的影响[D].昆明:云南大学,2019.
- [17] Boots B, Russell C W, Green D S. Effects of microplastics in soil ecosystems: above and below ground[J]. Environmental Science & Technology, 2019, 53: 11496–11506.
- [18] Qi Y L, Ossowicki A, Yang X M, et al. Effects of plastic mulch film residues on wheat rhizosphere and soil properties[J]. Journal of Hazardous Materials, 2020, 387: 121711.
- [19] 廖苑辰,娜孜依古丽·加合甫别克,李梅,等.微塑料对小麦生长及生理生化特性的影响[J].环境科学,2019,40(10):4661–4667.
- [20] Bosker T, Bouwman L J, Brun N R, et al. Microplastics accumu-

- late on pores in seed capsule and delay[J].Environmental Science & Technology, 2019, 53: 11496–11506.
- [21] 李瑞杰, 李连祯, 张云超, 等. 禾本科作物小麦能吸收和积累聚苯乙烯塑料微球[J]. 科学通报, 2020, 65(20): 2120–2127.
- [22] 连加攀, 沈玫玫, 刘维涛. 微塑料对小麦种子发芽及幼苗生长的影响[J]. 农业环境科学学报, 2019, 38(4): 737–745.
- [23] 张彦, 窦明, 邹磊, 等. 不同微塑料赋存环境对小麦萌发与幼苗生长影响研究[J]. 中国环境科学, 2021, 41(8): 3867–3877.
- [24] 马文倩, 许美玲, 郭红岩. 野外农田系统中聚乙烯微塑料对土壤-小麦系统的影响[J]. 南京大学学报(自然科学), 2021, 5(3): 393–400.
- [25] Lozano Y M, Rillig M C. Effects of microplastic fibers and drought on plant communities [J]. Environmental Science & Technology, 2020, 54(10): 6166–6173.
- [26] 冯雪莹, 孙玉焕, 张书武, 等. 微塑料对土壤-植物系统的生态效应[J]. 土壤学报, 2021, 58: 299–313.
- [27] De Souza Machado A A, Lau C W, Till J, et al. Impacts of microplastics on the soil biophysical environment[J]. Environ Sci Technol, 2018, 52(17): 9656–9665.
- [28] De Souza Machado A A, Lau C W, Kloas W, et al. Microplastics can change soil properties and affect plant performance[J]. Environmental Science & Technology, 2019, 53: 6044–6052.
- [29] Wan Y, Wu C X, Xue Q, et al. Effects of plastic contamination on water evaporation and desiccation cracking in soil [J]. Science of the Total Environment, 2019, 654: 576–582.
- [30] 吴佳妮, 杨天志, 连加攀, 等. 聚苯乙烯纳米塑料(PSNPs)对大豆(*Glycine max*)种子发芽和幼苗生长的影响[J]. 环境科学学报, 2020, 40(12): 4581–4589.
- [31] 平晓燕, 周广胜, 孙敬松. 植物光合产物分配及其影响因子研究进展[J]. 植物生态学报, 2010, 34(1): 100–111.
- [32] Marcelis L F M. Sink strength as a determinant of dry matter partitioning in the whole plant[J]. Journal of Experimental Botany, 1996, 47: 1281–1291.
- [33] McConnaughay K D M, Coleman J S. Biomass allocation in plants: ontogeny or optimality, a test along three resource gradients[J]. Ecology, 1999, 80(8): 2581–2593.

## Effects of microplastics addition on seedling growth and dry matter distribution of two wheat varieties

Xiao Yucheng<sup>a</sup>, Du Yanlei<sup>abc</sup>, Zhou Yongxian<sup>b</sup>, Wei Lixue<sup>b</sup>, Qucuo Ciwang<sup>a</sup>

(a.School of Ecology / b.School of Life Sciences / c.State Key Laboratory of Grassland Agro-ecosystems, Lanzhou University, Lanzhou 730000, China)

**Abstract:** Microplastics accumulation and pollution in soil has become a global environmental issue in the world. Many researches on the direct impact of micro plastics on plant growth and the indirect impact due to the changes of soil physical and chemical properties has been gradually carried out, but the research on the impact of different wheat varieties in the drylands is rarely reported. Two native dryland-planted wheat varieties (Ganchun 27 and Heshangtou) was as the selected research objects. High-density polyethylene with three mass concentrations (0, 1 and 4 g·kg<sup>-1</sup>) as the microplastics type were added for the wheat pot experiments under natural environmental conditions. The seed emergence rate, plant height, whole plant dry biomass and the under-/above-ground dry matter distribution rate of wheat under different soil micro plastic additions were analyzed during the seedling stage. The results showed that: (1) the addition of micro plastic had no effect on the emergence rate of the two varieties. (2) The whole-wheat biomass of Heshangtou variety was 46.7% and 8.5% higher than that of 0 g·kg<sup>-1</sup> and 4 g·kg<sup>-1</sup>, respectively. The whole-wheat biomass of Ganchun 27 variety was 28.7% and 17.2% higher than that of 0 g·kg<sup>-1</sup> and 4 g·kg<sup>-1</sup>, respectively. The whole-wheat biomass of Ganchun 27 wheat was 24.9%, 9.6% and 1.5% higher than that of Heshangtou wheat under the three concentrations, respectively. (3) Under different experimental treatment conditions, Ganchun 27 wheat had more dry matter distribution in the aboveground (stem and leaf), and the rates of under-/above-ground are lower than Heshangtou wheat. In the whole, the moderate micro plastic addition can promote wheat growth and dry matter accumulation by improving soil environment, and Ganchun 27 had stronger stress resistance than Heshangtou wheat variety due to the results of the dry matter distribution between the roots and stem and leaf. This research results have certain scientific value for the risk assessment and stress resistant variety selection of micro plastics in crop soil ecosystem.

**Key words:** microplastics; wheat varieties; pot experiment; seedling growth; dry matter distribution