

钞锦龙,张冬晖,李乐乐,等. 不同覆膜开孔率对温室土壤水盐及番茄产量和品质的影响[J]. 江苏农业科学,2024,52(3):193-200.
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2024.03.029

不同覆膜开孔率对温室土壤水盐及番茄产量和品质的影响

钞锦龙¹, 张冬晖¹, 李乐乐¹, 杨 朔¹, 雷添杰², 张鹏飞¹

(1. 太原师范学院地理科学学院,山西晋中 030619; 2. 中国农业科学院农业环境与可持续发展研究所,北京 100081)

摘要:为了探究温室大棚内不同覆膜开孔率对浅层土壤水盐运移及番茄产量、品质的影响,通过温室大棚种植试验中不同覆膜开孔率(0.5、2%、13.1%、20.9%、31.4%、100%,分别记作K1、K2、K3、K4、K5、K处理)条件下番茄土壤5、10 cm深度的土壤含水量、电导率和pH值的测定,结合主成分分析法对不同覆膜开孔率条件下的番茄产量和品质进行综合评价。结果表明:(1)在不同覆膜开孔率条件下,对土壤含水量影响显著,土壤含水量呈现出随覆膜开孔率增大而增大的趋势,5 cm深度土壤含水量表现出K5处理>K4处理>K处理>K3处理>K2处理>K1处理的趋势,10 cm土壤含水量表现出K5处理>K3处理>K处理>K2处理>K1处理>K4处理的趋势,土壤含盐量、蒸发能力强弱和所处温湿环境也会对土壤含水量产生影响。(2)不同覆膜开孔处理下土壤盐分状况差异明显,且不同土层的电导率存在显著差异,5 cm深度土壤电导率表现出K4处理>K5处理>K处理>K1处理>K2处理>K3处理的趋势,10 cm深度土壤表现出K处理>K1处理>K3处理>K5处理>K2处理>K4处理的趋势,同时,土壤电导率在不同土层深度间的差异表现为大开孔率明显大于小开孔率。(3)开孔率对土壤pH值的影响显著,小开孔率条件下土壤不同深度之间的pH值差异不明显,但是随着开孔率增大,土壤pH值呈现上层降低、下层增加的趋势。(4)覆膜开孔处理可有效促进番茄的生长和产量的提高,小开孔率下的增产效果要大于大开孔率条件,K4开孔处理的番茄株高最高,且利用番茄各指标进行综合评价的得分最高。研究结果对温室大棚内覆膜种植增产增收等方面具有一定的参考价值,同时也可为进一步探究温室大棚内覆膜开孔率对土壤水盐运移规律及土壤次生盐碱化的调控提供参考。

关键词:覆膜开孔率;土壤水盐;温室大棚;番茄;产量品质

中图分类号:S625.5;S641.204 **文献标志码:**A **文章编号:**1002-1302(2024)03-0193-08

塑料薄膜覆盖栽培具有增温保墒、抑盐抑草、改善土壤微环境等优点,对于促进作物生长发育、实现作物增产增收等起到显著的积极作用^[1-2]。20世纪70年代,我国开始引进地膜栽培技术,在干旱、半干旱地区的农业生产中大量使用塑料薄膜辅助耕种^[3-5]。在温室大棚种植生产中,塑料薄膜覆盖的应用也十分普遍,既提高了温室蔬菜、水果的产量与品质,又可以增加农户收入,从而极大推动了设施农业的发展^[6-7]。地表覆盖塑料薄膜会对土壤中的水、热、盐及作物的生长产生影响^[5,7-11]。在进行覆膜种植时,还应考虑到覆膜开孔率的问题,这是因为地膜开孔有利于作物生长、灌溉和施肥

等^[12]。覆盖地膜的土壤水、热、盐等要素会表现出一定的变化和迁移规律。例如,覆膜使土壤浅层的含水量得到提高,同时也可以提高作物土壤水分利用效率,与不覆膜相比,覆膜处理的增产效果显著^[13-14]。已有的研究表明,覆膜开孔会直接影响土壤剖面的温度、土壤层水分的蒸发及盐分的分布状况,适宜的覆膜开孔程度可以为作物生长发育提供良好的水肥环境,进而提高作物的产量和品质^[15-17]。文利军等研究发现,土壤剖面含水率受覆膜开孔率、大气蒸发能力共同作用影响,随着开孔率的增大,土壤含水率逐渐降低,但当开孔率增大到一定程度后,土表积累的盐分则会抑制潜水的进一步蒸发,使得开孔率较大时其累积蒸发量反而减小^[17]。李毅等通过覆膜开孔土壤蒸发试验发现,累积蒸发量随开孔率增大而呈增加趋势,随着开孔率的增大,土壤表层含水量逐渐降低^[18]。陈世平等研究指出,覆膜开孔率越大,盐分迁移效果越显著,浅层土壤含盐量大于深层土壤,土壤含盐量随深度增

收稿日期:2023-03-25

基金项目:山西省高等学校科技创新项目(编号:2021L419)。

作者简介:钞锦龙(1984—),男,山西太原人,博士,副教授,主要从事农业气象方面的研究。E-mail:chaojlnet@163.com。

通信作者:张冬晖,硕士研究生,研究方向为农业气象。E-mail:1643037987@qq.com。

加呈现出减小趋势^[19-20]。

以上研究大多基于室内土柱试验或室外大田模拟试验进行的,且侧重覆膜开孔条件下对土壤水分蒸发过程的影响,而对设施温室内覆膜开孔条件下土壤水、盐变化及作物生长、产量和品质的影响却很少涉及。本研究拟在温室大棚内进行模拟试验,选取番茄作为研究对象,采用起垄覆膜方式进行栽培,探讨设施温室内不同覆膜开孔条件下土壤水盐变化及对番茄产量和品质的影响,旨在为设施农业节水灌溉、增产增收等方面提供参考。

1 材料与方 法

1.1 试验地的选取

试验于 2021 年 4—7 月在山西省晋中市榆次区(37°45′29″N,112°46′01″E)日光温室内进行(图 1)。温室为半拱型钢木混合结构,东西走向,棚面朝南,北侧为高 3.6 m 的土墙,东西长 40 m,南北长 8 m。当地气候属于温带大陆性半干旱气候,海拔 760 ~ 800 m,夏季炎热多雨,冬季寒冷干燥,年平均气温 9.8 ℃,年平均降水量在 420 ~ 483 mm 之间,年日照时数 2 662 h,无霜期长达 158 d。试验地土壤类型为褐土,土壤质地适中,土壤 pH 值为 7.0。

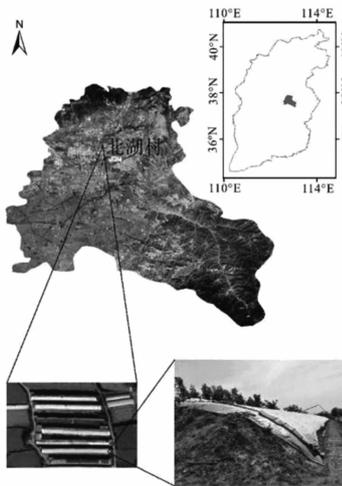


图 1 试验地点选址

1.2 试验设计

试验设置小区长 2 m,宽 0.6 m。共设置 6 种不同开孔率处理(K1 处理为全覆膜处理,K2 处理为 5.2% 开孔率处理,K3 处理为 13.1% 开孔率处理,K4 处理为 20.9% 开孔率处理,K5 处理为 31.4% 开孔率处理,K 处理为对照组,不覆膜,开孔率为 100%)。覆膜开孔率为膜孔总面积与覆膜总面积之比,开孔半径为 5 cm,本研究中的开孔率均用编

号表示。本试验所用塑料地膜为农用聚乙烯黑色塑料膜。试验开始前对土壤背景值进行测量,5、10 cm 深度土壤的电导率分别为 1 390、560 $\mu\text{S}/\text{cm}$,pH 值分别为 6.81、7.16。

以番茄作为试验对象,品种为普罗旺斯,播种时间为 2021 年 4 月 12 日。每个处理栽植 8 株番茄幼苗,行距 60 cm,株距 35 cm。试验期间定期对其进行灌溉、打芽、吊蔓等日常管理及相关指标的测定,除开孔率不同,其他要素在各处理组间均无差异。

1.3 测试指标与分析方法

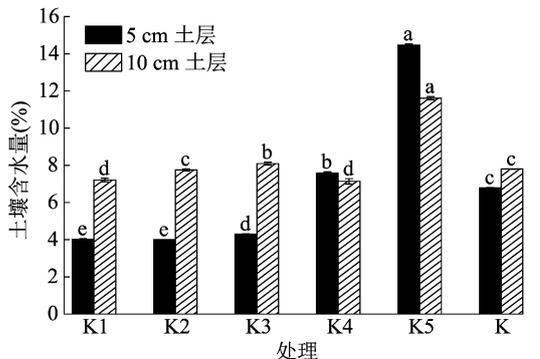
1.3.1 指标的测定 土壤指标包括土壤含水量、土壤电导率和 pH 值。土壤含水量的测定:用土钻进行取样,土壤取样点选在膜孔周围,3 个取样点(取平均值)选择不同深度(5、10 cm)分别取样。采用烘干称质量法测量土壤含水量,将土样放进烘箱中,温度设置为 105 ℃,时间设定为 24 h。土壤电导率、pH 值的测定:采用土水体积比 1 : 5 的土壤浸提液测定电导率和 pH 值。番茄生理指标包括株高、叶片叶绿素含量、产量、单果质量和品质(糖度、酸度、味觉指数和果实硬度)。株高的测定:使用卷尺在番茄的苗期、花期和果期采取随机的方式(每个处理测 3 株,取均值)测量番茄的株高。叶片叶绿素含量的测定:使用植物营养测定仪(LYS-4N 型)测定番茄叶片的叶绿素含量(SPAD 值),每个处理随机选取 3 株,每株测 3 张叶片。产量的测定:使用电子称测量果实质量,确定各个处理的产量和平均单果质量(单位为 g)。品质的测定:用糖度仪(PAL-BXIACID3 型,日本)和数显水果硬度计(GY-4 型)测定番茄果实的糖度、酸度和硬度(每个处理选取 8 个果实样本)。糖酸比的计算公式:糖酸比 = (糖度/酸度) × 100%。味觉指数的计算公式:味觉指数 = 糖度 / (20 × 酸度) + 酸度。

1.3.2 数据处理 用 Excel 软件对试验数据进行统计,用 SPSS 26 软件对数据进行方差分析、相关性分析和主成分分析。

2 结果与分析

2.1 不同覆膜开孔率对土壤水分的影响

为了探究不同覆膜开孔条件下土壤浅层剖面含水量的变化,在果实成熟期距上次灌溉 1 周后(7 月 24 日)的 10:00 进行取样测量。图 2 为不同覆膜开孔率下 5、10 cm 土层深度的土壤含水量。



同一土层的不同处理柱上标有不同小写字母表示差异显著 ($P < 0.05$), 图 3、图 4、图 5、图 7 同

图2 不同覆膜开孔率下土壤浅层剖面含水量

从图 2 可以看出,土壤含水量呈现出随覆膜开孔率提高而增大的趋势,但在不同覆膜开孔率下,不同剖面深度间的土壤含水量变化存在差异。受到覆膜开孔率变化的影响,不同剖面深度土壤含水量的变化幅度明显不同,5 cm 深度土壤含水量的变化幅度明显大于 10 cm 深度土壤,5 cm 深度土壤含水量表现出 K5 处理 > K4 处理 > K 处理 > K3 处理 > K2 处理 > K1 处理的趋势,10 cm 深度土壤含水量表现出 K5 处理 > K3 处理 > K 处理 > K2 处理 > K1 处理 > K4 处理的趋势。5 cm 深度土壤含水量随覆膜开孔率的增大整体呈平稳上升趋势,K1、K2、K3 处理土壤含水量变化不明显,大致相同,但随着开孔率的提高,在 K3 至 K5 处理下,土壤含水量迅速增加,并呈指数式增长。10 cm 深度土壤的含水量随覆膜开孔率的提高整体呈增加趋势,但存在波动变化,在 K1 至 K3 处理下,土壤含水量呈缓慢增加趋势,K4 处理下的土壤含水量出现明显下降,之后又继续增加。K1 至 K3 处理的土壤含水量表现为 5 cm 深度低于 10 cm 深度,但当开孔率增大到 K4 处理时,5 cm 深度土壤含水量开始高于 10 cm 深度土壤。由此得出,土壤含水量随覆膜开孔率的提高整体呈增加趋势,但并非呈简单的递增或递减关系,这与邢旭光等得出的研究结论^[20]一致。

在覆膜开孔条件下,K5 处理的土壤层剖面含水量最大,这主要是因为 K5 处理的开孔率最大,相比其他处理,土壤所获得的灌溉水分最多,随着开孔率的降低,土壤能获取的水分依次减少。与此同时,开孔率越大,土壤蒸发面也越大,土表水分蒸发得越快,随着土壤表面盐分的积累,越容易在土壤表面形成厚层盐壳,而盐壳反过来会抑制土壤水分蒸发。因此,就所有开孔处理而言,K5 处理的盐壳

形成最早,积累量最多,水分散失受盐壳影响最大,并且随开孔率减小,这种影响逐渐减弱。

除了受盐壳影响外,环境要素也是影响土壤含水量的重要因素之一。随着太阳升起,温室内气温迅速上升,蒸发能力增强,由于温室内空间相对封闭,随着气温升高,水分快速蒸发,由于 K 处理无覆膜,开孔率为 100%,表层土壤水分的散失远大于其他处理。相比之下,K1 处理开孔率为 0 的土壤水分散失量最少。尽管有盐壳的抑制作用和水分的灌溉补充,随着蒸发能力的增强,土壤水分散失得越来越快,土壤水分蒸发量呈现出 K 处理 > K5 处理 > K4 处理 > K3 处理 > K2 处理 > K1 处理的规律,K5 处理土壤含水量最大,但随着时间的推移,气温上升迅速,蒸发越来越强,K5 处理的土壤含水量也会快速下降。在所有处理中,K4 开孔率处理的土壤含水量虽不及 K5 处理,但其在不同土壤剖面深度的土壤含水量均较高,是土壤剖面深度含水量发生变化的节点,上层土壤含水量开始大于下层土壤含水量。

综上所述,土壤含水量不仅受覆膜开孔率的影响,还受土壤含盐量、蒸发能力和所处环境的影响。试验在温室内进行,受外界因素干扰较少(大气降水和风等),气温、空气湿度及土壤性状与户外大田存在明显差异,因此试验结果也会存在显著差异^[20]。与此同时,时间因素也需要考虑在内,因为不同时间段对试验结果也会产生很大程度的影响。

2.2 不同覆膜开孔率对土壤盐分、pH 值的影响

2.2.1 对土壤盐分的影响

水分与盐分之间有很强的关联性,在不同覆膜开孔条件下,土壤水分存在显著差异。为探究不同覆膜开孔条件下土壤盐分的变化情况,根据获取的试验数据绘制出不同覆膜开孔条件下土壤电导率变化情况,一般情况下,土壤电导率越大,说明土壤里的盐分越高。

从图 3 可以看出,在不同覆膜开孔处理下,土壤盐分状况有明显差异且不同土壤剖面深度的土壤盐分变化差异显著。随着开孔率的增大,土壤中的盐分水平明显提高,5 cm 深度土壤盐分含量表现出 K4 处理 > K5 处理 > K 处理 > K1 处理 > K2 处理 > K3 处理的规律,10 cm 深度土壤盐分表现出 K 处理 > K1 处理 > K3 处理 > K5 处理 > K2 处理 > K4 处理的规律。K1 处理与 K 处理相比,5、10 cm 深度范围内土壤溶液的电导率明显下降,分别下降了 30%、18%,说明塑料薄膜覆盖有很好的抑盐效果,

在温室内使用地膜覆盖能够有效改善土壤盐分状况,防止土壤盐渍化问题^[16]。在 5 cm 深度,土壤电导率随覆膜开孔率的提高整体呈增加趋势,K1 至 K3 处理的土壤电导率出现下降趋势,但随着开孔率提高,K4 处理的土壤电导率显著增加,是 K3 处理的 3.7 倍,之后又随着开孔率的提高而降低。在 K2、K3 处理下,5 cm 深度土壤的电导率无显著差异,且小于 10 cm 深度土壤电导率。但随着开孔率的提高,土壤电导率明显增加,K4、K5 处理 5 cm 深度土壤的电导率分别为 952.10、739.70 $\mu\text{S}/\text{cm}$ 。在 10 cm 深度,土壤电导率随开孔率的增大整体呈下降趋势,但存在波动变化,其中 K4 处理的土壤电导率最低,为 252.67 $\mu\text{S}/\text{cm}$,仅为 5 cm 深度的 1/4。在 K4 开孔率处理下,5 cm 深度土壤的电导率开始高于 10 cm 深度,二者之间的电导率差异显著,且差异大于其余各处理。

小开孔率不利于土壤水分散失,盐分更加容易随水分下渗到土壤中,上层土壤盐分要低于下层土壤,而随着开孔率增大,水分更容易散失,盐分更易随水分迁移向上至上层土壤,盐分表聚现象更加明显。从不同开孔处理来看,大开孔率下不同土壤剖面深度土壤盐分变化大于小开孔率处理且剖面深度盐分变化幅度大。本试验分析结果表明,覆膜处理可以有效降低土壤表层盐分状况,减少土壤盐碱化的对作物的危害,但是就设置何种开孔率可以使土壤盐分水平最佳有待深入探究。

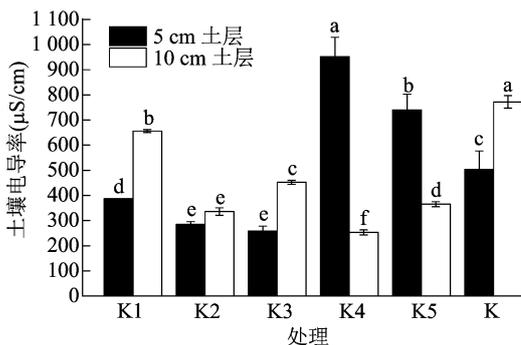


图3 不同覆膜开孔率下土壤电导率的变化

2.2.2 对土壤 pH 值的影响 从图 4 可以看出,土壤总体呈碱性(pH 值 > 7.5),pH 值明显高于试验开展前的土壤。5 cm 深度土壤 pH 值呈现出 K1 处理 > K3 处理 > K2 处理 > K 处理 > K5 处理 > K4 处理的规律,10 cm 深度土壤 pH 值则呈现出 K4 处理 > K3 处理 > K5 处理 > K2 处理 > K1 处理 > K 处理的规律。在覆膜条件下,不同剖面深度的土壤 pH 值

有明显差异,5 cm 土壤的 pH 值随覆膜开孔率的增长整体呈下降趋势,K1、K2、K3 处理之间的土壤 pH 值无显著差异,但随着开孔率的增大,K4 处理的土壤 pH 值明显下降,之后又随着开孔率的增大而继续增大,但土壤 pH 值明显低于前 3 种处理。10 cm 深度土壤的 pH 值随开孔率增大变化显著,在 K1 ~ K4 处理下,随着开孔率的增大而增加,当开孔率继续增大时,pH 值呈下降趋势,覆膜开孔处理的土壤 pH 值显著高于无覆盖处理。在覆膜条件下,随着覆膜开孔率的增大,10 cm 深度土壤的 pH 值开始增大且逐渐高于 5 cm 深度土壤。

试验结果表明,覆膜对土壤 pH 值有显著影响,试验后的土壤酸碱度增大,更加偏碱性。不同覆膜开孔条件下的土壤 pH 值存在显著差异,小开孔率对土壤 pH 值变化的影响较小,且不同剖面深度之间差异不大。但随着覆膜开孔率的继续增大,土壤 pH 值变化较大,不同深度之间土壤 pH 值差异明显,上层土壤 pH 值呈现出随开孔率增大而降低的趋势,下层土壤则相反,这与土壤水分的迁移和蒸发有很大关系。

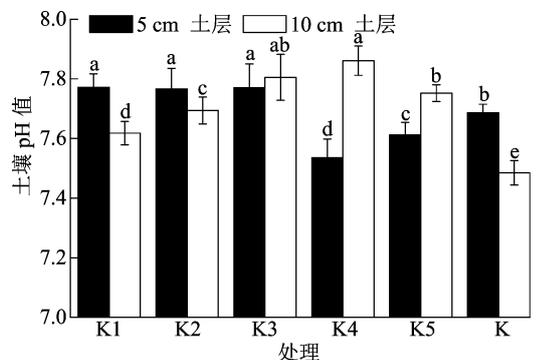


图4 不同覆膜开孔率下土壤 pH 值的变化

2.3 不同覆膜开孔率对番茄性状的影响

2.3.1 对番茄生长情况的影响 株高是反映植株生长情况的重要指标之一^[21],根据番茄的不同生长阶段,在 5—6 月对不同开孔条件下的番茄株高进行随机测量,时间间隔为 1 周,根据测得数据绘制出不同时期番茄的株高(图 5)。由表 1 可以看出,不同覆膜开孔处理下番茄植株高度无明显差异,平均高度为 90 cm 左右,覆膜开孔处理下的番茄株高表现出 K4 处理 > K3 处理 > K5 处理 > K1 处理 > K2 处理 > K 处理的规律,其中 K4 处理的番茄高度最高,K3 开孔处理次之,平均高度均超过 90 cm,K1、K2、K5、K 处理的番茄高度较低,分别为 86、85、87、84 cm。

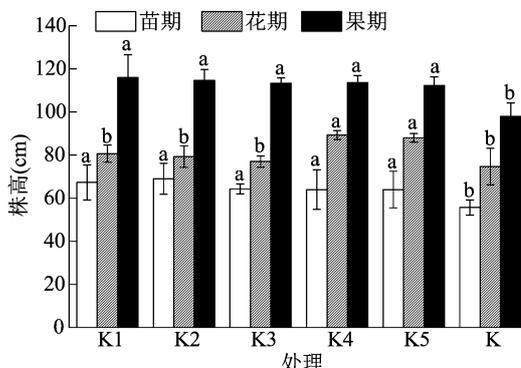


图5 不同生长时期番茄植株高度的变化

在生长初期,各处理番茄幼苗生长缓慢,5月17日测得覆膜处理下的番茄平均株高为65 cm左右,而K开孔处理的番茄株高最低,仅为56 cm,远低于覆膜处理。但随着时间推移,番茄生长速度逐渐加快,以K4处理的番茄植株生长速度最快,K5开孔处理次之,K1、K2、K3处理的番茄生长速度最慢。各处理株番茄生长不均衡,高低不一,其中无覆盖处理的番茄平均株高最低,为84 cm,相比之下,覆膜处理下的番茄生长较快,K3、K4处理的生长速度优于其他处理。

表1 不同覆膜开孔率下对番茄的综合评价

处理组	株高 (cm)	叶绿素相对含量 (SPAD 值)	产量 (g)	单果质量 (g)	糖度 (%)	酸度 (%)	糖酸比	味觉指数	硬度 (kg/cm ²)
K1	86a	33.2a	6 111.04a	89.92a	5.54bc	1.47a	3.77c	1.66a	1.69ab
K2	85a	33.2a	5 950.29a	69.93a	4.40e	0.87bc	5.06bc	1.12c	2.47a
K3	90a	32.1a	5 369.58b	71.60a	5.16cd	0.97bc	5.32b	1.24bc	2.04ab
K4	96a	32.3a	4 445.18b	63.12a	6.04a	1.22ab	4.95bc	1.47ab	1.82ab
K5	87a	32.5a	4 787.00b	61.71a	5.75ab	0.79c	7.28a	1.15b	2.32a
K	84a	33.7a	3 347.13c	65.12a	4.96d	1.00bc	4.96bc	1.25bc	1.39b

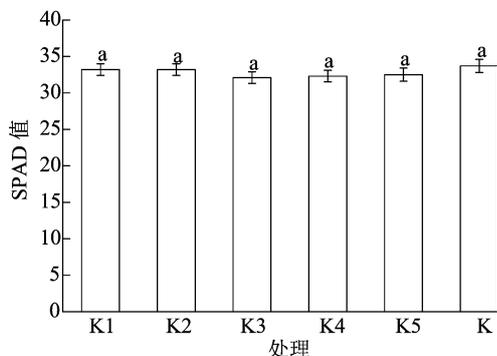
注:同列数据后标有不同小写字母表示差异显著($P < 0.05$)。

由此可以得出,覆膜处理有助于番茄生长,适当的覆膜开孔程度对番茄植株高度和生长具有促进作用,覆膜开孔处理下番茄的生长情况整体要优于无覆盖、黑膜覆盖处理。

2.3.2 对番茄叶片叶绿素含量的影响 作物中的叶片叶绿素含量常被用作衡量作物光合作用能力强弱、评定植物环境适应能力和营养状况的一项重要指标^[22]。根据所得数据进行分析,结果显示,在不同覆膜开孔处理下,番茄叶片叶绿素含量均无显著差异(图6),说明覆膜开孔处理对作物光合作用的影响不显著。植物叶片中的叶绿素含量受到氮素的影响,还与光照度有关。本研究认为,不同覆膜开孔条件虽对作物光合作用的影响不显著,但地膜覆盖能有效抑制杂草的生长,从而促进番茄根部对养分的吸收。其次,在温室环境下,光照度远低于温室外,光合效率较弱。因此在生产过程中应注意覆膜情况下作物的施肥,施肥量要区别于普通裸地,生产者应及时了解作物氮营养状况,从而确定是否需要追肥或减少施肥,这对提高作物产量和品质十分重要。

2.4 不同覆膜开孔率对番茄产量和品质的影响

2.4.1 产量对比 从图7可以看出,番茄产量随覆



柱上标有不同小写字母表示处理间差异显著($P < 0.05$)

图6 不同覆膜开孔率下番茄叶片叶绿素含量的变化

膜开孔率的提高整体呈下降趋势,且在不同覆膜开孔处理下,番茄产量存在明显差异。不同覆膜开孔处理的番茄产量表现出 K1 处理 > K2 处理 > K3 处理 > K5 处理 > K4 处理 > K 处理的规律。K1、K2 处理番茄产量无显著差异,平均产量为 6 kg 左右,但当开孔率继续提高时,产量明显不如 K1、K2 处理高,平均产量为 3~5 kg。覆膜处理下的番茄产量较无覆膜处理明显增加,相比无覆膜处理,K1 处理增产 83%,K2 处理增产 78%,K3 处理增产 55%,K4 处理增产 33%,K5 处理增产 43%。从平均单果质量来看,除黑膜覆盖的 K1 处理外,其余处理均无显

著差异;平均单果质量随覆膜开孔率的提高整体呈下降趋势,其中 K1 开孔处理的平均单果质量最大,超过 90 g,其余处理的平均单果质量仅为 65 g 左右,K5 处理平均单果质量最小,为 61.71 g(表 1)。由此可以得出,温室内覆盖地膜具有明显的增产效果,而覆膜开孔处理对番茄产量和果实大小具有显著影响。随着开孔率的增大,番茄产量明显下降,平均单果质量也有所下降。开孔率越大,对番茄产量的影响越明显,增产效果越差,主要原因可能是土壤中盐分增加从而导致产量下降。覆膜开孔处理虽不及不开孔处理增产效果好,但较无覆膜处理而言,产量明显有所增加。

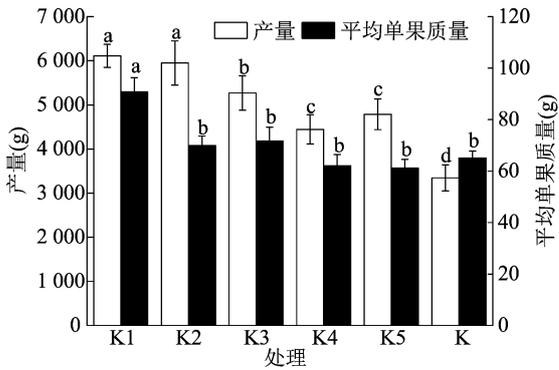


图7 不同覆膜开孔率下番茄产量的变化

2.4.2 品质对比 番茄品质性状的评价受到多种评价指标(一般包括果实大小、硬度、可溶性固形物含量、糖含量、酸含量、糖酸比、维生素 C 含量等指标)的影响^[23-24]。本研究依据实际情况,测定了番茄的糖度、酸度及硬度,并根据测得的数据计算果实的糖酸比和味觉指数,以此判断不同覆膜开孔下番茄品质的差异情况。

从表 1 可以看出,不同覆膜开孔率处理间的番茄糖度、酸度和糖酸比表现出显著差异,而在不同覆膜开孔率处理间的番茄果实硬度未表现出显著差异。糖度是决定水果新鲜度、成熟度、口感的一项重要参数。K 与 K1 处理相比,K1 处理的番茄果实糖度比 K 处理高 12%。在覆膜开孔情况下,番茄果实糖度差异明显,K2 处理的番茄果实糖度最低,为 4.40%,K4 处理的番茄果实糖度最高,为 6.04%。由此可以得出,覆膜处理可以显著提高番茄糖度,适当地开孔对果实增糖效果明显,开孔程度过小或过大时增糖效果较弱。番茄是一种酸甜口味的果实,口感酸甜,具有较高糖度和相对较高酸度的番茄口味最佳,低糖高酸会使番茄果实味道发酸,口感不佳,高糖低酸则会使番茄果实风味偏淡^[25]。在

不同覆膜开孔率处理下,番茄果实酸度差异显著,在 0.79 ~ 1.47 之间,糖酸比在 4.14 ~ 8.43 之间。其中 K1、K4 处理的番茄果实糖度、酸度均较高。K5、K3 开孔处理的番茄果实糖酸比虽高,分别为 8.43、6.40,但酸度偏低,分别仅为 0.79、0.97。番茄内部的糖、酸水平在很大程度上影响番茄果实口感品质的优劣,在含糖量较高的情况下,较高的酸度水平虽会降低糖酸比,但果实的总体口感品质最佳。综合来看,合适的开孔程度有助于番茄糖度水平的提升,小开孔率、大开孔率下的番茄酸度水平存在显著差异,而只以糖酸比的高低来判定番茄品质优劣并不可靠,高糖度和相对较高的酸度,糖酸比会降低,这与程远等的研究结果^[25]一致。

由表 1 还可以看出,从味觉指数上来看,不同覆膜开孔率处理间以 K1 处理的味觉指数最高,为 1.66。随着开孔率的增大,味觉指数呈波浪式变化的趋势,K4 开孔处理的味觉指数达到次高值,为 1.47,之后随着开孔程度继续增大,味觉指数开始明显下降,且大开孔率处理之间的味觉指数无显著差异。果实硬度也是影响果实品质的重要参数之一,分析发现,不同开孔率处理之间的果实硬度差异不大,在 1.39 ~ 2.47 之间,番茄果实硬度呈现出 K2 处理 > K5 处理 > K3 处理 > K4 处理 > K1 处理 > K 处理的规律。和覆膜处理相比,无覆盖处理下的番茄硬度最小,覆膜开孔处理下的番茄硬度要高于全覆盖、无覆盖处理,而硬度大小决定了果实的耐运输程度和销售距离。

2.5 不同覆膜开孔率下番茄各项指标间相关性分析和主成分分析

2.5.1 相关性分析 对 9 个番茄评价指标进行 Pearson 相关性分析。由表 2 可以看出,叶片叶绿素含量、产量、糖度、酸度等其他评价指标间没有显著相关性;味觉指数与酸度呈现极显著的正相关关系,说明番茄口味的优劣不仅取决于糖度,还取决于酸度水平。除了上述 2 个指标外,其余指标包括株高、产量、硬度等均无显著相关性。评价指标中只有部分指标呈现出极显著相关性,大部分指标无显著相关,彼此相互独立,存在部分信息重叠,可以对其进行综合评价。

2.5.2 主成分分析 对 6 个不同处理的 9 个番茄指标进行主成分分析^[26]。如表 3 所示,共得到 4 个主成分,方差贡献率依次为 34.090%、31.578%、18.080%、13.401%,累计贡献率为 97.149%,能够

表 2 番茄相关评价指标间的相关性分析

指标	相关系数								
	株高	叶绿素含量	产量	单果质量	糖度	酸度	糖酸比	味觉指数	硬度
株高	1.000								
叶绿素含量	-0.773	1.000							
产量	-0.250	0.206	1.000						
单果质量	-0.085	-0.114	-0.242	1.000					
糖度	0.698	-0.539	-0.093	-0.523	1.000				
酸度	0.234	0.126	0.316	0.033	0.404	1.000			
糖酸比	0.046	-0.407	-0.265	-0.414	0.177	-0.808	1.000		
味觉指数	0.300	0.038	0.299	-0.064	0.536	0.987 **	-0.705	1.000	
硬度	0.024	-0.302	0.449	0.337	-0.467	-0.363	0.094	-0.416	1.000

注：*、** 分别表示显著 ($P < 0.05$)、极显著 ($P < 0.01$) 相关。

表 3 主成分的特征值和方差贡献率

主成分	特征值	方差贡献率 (%)	累计方差贡献率 (%)
1	3.409	34.090	34.090
2	3.158	31.578	65.668
3	1.808	18.080	83.748
4	1.340	13.401	97.149

代表原始数据的大部分信息,可以作为番茄综合评价新的指标。其中,主成分 1 的贡献率为

34.090%,主要代表叶绿素含量,主要反映番茄植株的长势、营养状况;主成分 2 的贡献率为 31.578%,主要代表番茄果实的糖度、酸度和味觉指数等指标,反映了番茄果实风味;主成分 3 的贡献率为 18.080%,主要反映番茄的质量信息;主成分 4 的贡献率为 13.401%,主要反映番茄的产量信息。

通过主成分分析法计算综合得分并对其进行从高到低排名,如表 4 所示,不同覆膜开孔处理综合得分排名前 3 的分别是 K4、K1、K3 处理,排名后 3 名的依次是 K5、K、K2 处理。

表 4 不同覆膜开孔率下番茄指标的综合得分

处理组	各主成分得分				综合得分	排名
	1	2	3	4		
K1	0.869	0.473	-0.893	1.975	0.672	2
K2	2.581	0.285	-2.249	-3.374	-1.442	6
K3	-3.207	1.333	1.027	0.189	0.132	3
K4	-1.446	0.550	1.738	2.375	1.258	1
K5	0.318	-1.245	1.183	-0.612	-0.055	4
K	0.885	-1.396	-0.806	-0.553	-0.566	5

3 结论

在不同覆膜开孔率下,土壤含水量存在很大差异,土壤含水量呈现出随覆膜开孔率提高而增大的趋势;不同剖面深度土壤含水量变化幅度明显不同,5 cm 深度土壤含水量的变化幅度要大于 10 cm 深度土壤含水量。土壤含水量并不与覆膜开孔率之间呈简单的正相关或负相关关系,土壤含水量不仅受到覆膜开孔率的影响,还受到土壤含盐量、蒸发能力强弱和所处温室环境的影响。

在不同覆膜开孔条件下,土壤盐分状况有明显差异,且不同土壤剖面深度的土壤盐分变化也表现出明显差异。在 5 cm 深度土壤,盐分含量表现出 K4 处理 > K5 处理 > K 处理 > K1 处理 > K2 处理 > K3 处理的规律,10 cm 深度土壤盐分含量表现出 K 处理 > K1 处理 > K3 处理 > K5 处理 > K2 处理 > K4 处理的规律。覆膜开孔处理可以有效降低土壤表层盐分状况,当开孔率为 13.1% 时,5 cm 深度土壤的盐分含量最低,当开孔率为 20.9% 时,5 cm 深度土壤的含盐量达到最大值且开始逐渐超过 10 cm 深

度土壤,土壤剖面盐分变化幅度增大。覆膜对土壤 pH 值有显著影响,试验后的土壤酸碱度增大,更加偏碱性,上层土壤的 pH 值呈现出随开孔率增大而降低的趋势,下层土壤则相反。

覆膜开孔处理对番茄的生长情况有不同程度的影响。适当的覆膜开孔程度对番茄植株高度和生长速度提高作用明显,各开孔处理中,以 20.9% 开孔率番茄的生长速度最快;覆膜开孔处理对番茄叶片叶绿素含量无显著影响,对作物光合作用无显著影响。覆膜开孔处理对番茄产量和果实大小有显著影响,小开孔率处理的番茄产量要高于大开孔率处理,随着开孔率提高,番茄产量虽有所增加,但不如小开孔率产量高;平均单果质量随覆膜开孔率的增大呈现出下降趋势,K1 处理的平均单果质量最大,K5 开孔处理的平均单果质量最小。

利用主成分分析法对番茄相关生理指标进行分析,可知 K4 开孔处理综合得分最高。番茄的产量随开孔程度的增大有所下降的趋势,增产效果弱于不开孔处理,但从番茄生长情况、番茄品质方面来看,K4 处理的综合评价最高,即开孔率为 20.9% 的处理效果最佳。

参考文献:

- [1] 哈斯图亚,陈仲新. 农田覆膜效益、环境影响与监测研究进展分析[J]. 中国农业资源与区划, 2017,38(4):1-8,16.
- [2] Marques D J, Matheus F E, Bianchini H C, et al. Tomato production in hydroponic system using different agrofilms as greenhouse cover [J]. Horticultura Brasileira, 2020, 38: 58-64.
- [3] 严昌荣,何文清,刘恩科,等. 作物地膜覆盖安全期概念和估算方法探讨[J]. 农业工程学报, 2015, 31(9):1-4.
- [4] 张德奇,廖允成,贾志宽. 旱区地膜覆盖技术的研究进展及发展前景[J]. 干旱地区农业研究, 2005(1):208-213.
- [5] 梁冰妍,韩凡香,王闻天,等. 不同覆盖材料对土壤温度及马铃薯产量的影响[J]. 安徽农学通报, 2019, 25(11):25-37, 39.
- [6] 周长吉,李艳,牛曼丽,等. 北京市平谷区日光温室发展现状与建议[J]. 中国蔬菜, 2022(10):5-12.
- [7] 王琼,宗静. 地膜覆盖时期对草莓大棚基质育苗的影响[J]. 中国果树, 2021(4):62-64.
- [8] 曾晓萍,王立,马金骏,等. 不同类型全生物降解地膜对芋头产量和土壤环境的影响[J]. 中国蔬菜, 2022(2):88-94.
- [9] Nana L, Fuqiang T, Hongchang H, et al. Effects of plastic mulch on soil heat flux and energy balance in a cotton field in northwest China [J]. Atmosphere, 2016, 7(8):107.
- [10] Ai Z, Yang Y, Wang Q X, et al. Changes of surface energy partitioning caused by plastic mulch in a cotton field [J]. International Agrophysics, 2018, 32(3):349-356.
- [11] 俞海英,肖让,张永玲,等. 旱区作物生长水热环境对不同覆盖材料的响应[J]. 农业科技与信息, 2020(5):27-28.
- [12] 徐飞,史文娟,邢旭光,等. 覆膜开孔条件下新疆地区潜水蒸发及水热关系研究[J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版), 2013, 41(10):172-178.
- [13] 宗睿,王玉诏,高超,等. 不同地膜覆盖对夏玉米产量及水分利用效率的影响[J]. 灌溉排水学报, 2017, 36(12):31-35.
- [14] 李海东,李文金,康涛,等. 花生覆膜和露地栽培条件下不同收获时期对产量及构成因素的影响[J]. 花生学报, 2021, 50(3):75-79.
- [15] 高金芳,李毅,陈世平,等. 覆膜开孔蒸发条件下土体高度对水盐运移的影响[J]. 农业机械学报, 2010, 41(9):50-55.
- [16] 史文娟,邢旭光,张振华,等. 覆膜开孔条件下盐渍土壤的潜水蒸发及水盐运移特性[J]. 干旱地区农业研究, 2013, 31(4):26-30.
- [17] 文利军,史文娟,高志永,等. 不同覆膜开孔率下土壤水分和潜水蒸发的模拟研究[J]. 水土保持学报, 2020, 34(1):225-229.
- [18] 李毅,王全九,王文焰,等. 覆膜开孔土壤蒸发实验研究[J]. 应用生态学报, 2005(3):445-449.
- [19] 陈世平,李毅,高金芳. 覆膜开孔蒸发条件下斥水土壤水盐变化规律[J]. 农业机械学报, 2011, 42(5):86-91.
- [20] 邢旭光,史文娟,王全九. 不同覆膜开孔率条件下棉花苗期土壤水盐分布特征及出苗率分析[J]. 西安理工大学学报, 2014, 30(1):96-101, 107.
- [21] 费良军,汪爱科,王龙飞,等. 日光温室基质栽培樱桃西红柿滴灌试验研究[J]. 排灌机械工程学报, 2016, 34(12):1070-1076.
- [22] 李占成,李玮,梁秀枝,等. 叶绿素仪在玉米氮营养诊断及推荐施肥中的研究与应用[J]. 作物杂志, 2011(4):58-62.
- [23] 师建华,齐连芬,王丹丹,等. 不同防控措施对温室番茄品质、产量及发病率的影响[J]. 中国农业科技导报, 2019, 21(4):88-95.
- [24] 徐丽丽,申晓青,单素兰,等. 园艺作物果实皮色遗传研究进展[J]. 分子植物育种, 2015, 13(11):2655-2662.
- [25] 程远,万红建,刘超超,等. 十六个樱桃番茄品种果实风味品质相关指标比较分析[J]. 浙江农业学报, 2018, 30(11):1859-1869.
- [26] 董琼,李世民,高尚杰,等. 不同种源树番茄果实品质比较及综合分析[J]. 食品与发酵工业, 2022, 48(4):266-273.