

郝 鹏,王 紫,王玉刚,等. 碱地番茄果实相关性状变化及差异表达基因分析[J]. 江苏农业科学,2023,51(9):154-161.
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2023.09.021

碱地番茄果实相关性状变化及差异表达基因分析

郝 鹏¹,王 紫¹,王玉刚²,江宏伟¹,李 海¹,安 利¹,于小彭¹,李蔚然¹

(1. 辽宁省盐碱地利用研究所,辽宁盘锦 124010; 2. 沈阳农业大学,辽宁沈阳 110866)

摘要:在正常土壤和碱性土壤栽培条件下,对鑫圣、辽粉 185、鲜阳、草莓 2 号、精彩 6 号等 5 个番茄品种的生长指标、果实品质和果实产量进行比较,以期筛选出最优质的番茄品种。同时利用转录组测序技术对响应不同土壤栽培条件的果实品质相关差异基因进行分析,以期在碱性土壤下种植高品质番茄提供理论依据。研究结果如下:碱性土壤对番茄的株高、茎粗和果实产量均有明显的抑制作用;碱性土壤条件下,番茄果实的可溶性固形物、可溶性糖、有机酸、维生素 C 等含量均明显提高,其中维生素 C 含量较正常土壤高出 31.98%~99.58%。番茄各品种中草莓 2 号的产量和果实品质较好。取优质的番茄品种草莓 2 号,在正常土壤和碱性土壤栽培条件下的果肉和果胶,进行转录组检测,共鉴定出 559 个差异表达基因(DEGs),其中 332 个表达上调,227 个表达下调。通过 GO 功能富集分析和 KEGG Pathway 的功能富集分析,发现番茄的类胡萝卜素生物合成中番茄红素环化酶(*sls00906*)基因和半乳糖代谢中的糖代谢(*sls00052*)基因较为活跃,在番茄植株的生长激素方面,苯丙素生物合成(*sls00940*)、植物激素信号的转导(*sls04075*)和脱落酸 8'-羟化酶 CYP707A1(*sls04626*)基因都与植物的抗盐碱性有关。推测在碱性土壤下种植的番茄类果实品质以及植物的抗逆性与正常土壤下种植的番茄有明显的变化,会对植物生长过程产生更大的影响。

关键词:番茄;品种比较;碱性土壤;转录组

中图分类号:S641.201 **文献标志码:**A **文章编号:**1002-1302(2023)09-0154-08

番茄(*Solanum lycopersicum* L.)别称西红柿、洋柿子等,为茄科番茄属植物,原产于南美洲^[1],是我国设施栽培的主要蔬菜品种之一^[2]。近 20 年来,随着我国设施蔬菜产业的迅猛发展,设施番茄越来越普遍^[3],2010 年我国番茄种植面积为 1 032.5 万 hm²,占当年总种植面积的 7%,产量达 3 608.5 万 t,约占蔬菜总产量的 9%^[4]。截至 2014 年,我国设施蔬菜面积为 386.5 万 hm²,其中,番茄是最主要的栽培作物^[5]。截至 2017 年,我国设施园艺面积为 370 万 hm²,位居世界榜首^[6]。

番茄的果实品质由外观品质、风味品质、营养

品质和加工贮藏品质构成^[7],在果实品质方面含有可溶性糖、有机酸、维生素 C 等营养元素,以及番茄红素等抗氧化元素,能够增强体质、预防疾病,在鲜食或医药领域都具有广泛的用途,同时番茄是世界上消费量最大的蔬菜,也是我国种植最为广泛的一类大宗蔬菜^[8]。

碱地番茄是在辽宁省盘锦市独特的高盐碱土壤和灌溉水的自然环境条件下,集成优良品种与特定的栽培方式生产出的独特风味品质、高营养价值的番茄果实,但常规栽培方式下碱地番茄商品率低,肥水不易控制^[9]。在盐碱胁迫中,对番茄的生长发育以及代谢造成影响,减少果实产量,但是特殊的土壤条件也会提高番茄果实的品质和风味^[10]。在盐碱土壤种植下,果实中的水分减少能够有效提

收稿日期:2022-06-21

作者简介:郝 鹏(1992—),男,辽宁营口人,硕士,助理研究员,从事碱地番茄栽培研究。E-mail:469383608@qq.com。

[32] Zhou S H, Guo R R, Wei R F, et al. Effects of bagging or the combination of umbrella and bag treatments on anthocyanin accumulation in the berry skin of 'Kyoho' (*Vitis labruscana*) Grape[J]. Food Science and Technology, 2020, 40(2): 394-400.

[33] Zhang B B, Ma R J, Zhang C H, et al. Effect of bag removing with reflective film mulching before harvest on fruit coloration and expression of anthocyanin related genes in peach[J]. Horticultural

Plant Journal, 2015, 1(3): 139-146.

[34] 张梦燕,孙军利,赵宝龙,等. 外源 ALA 对葡萄果实品质及 PAL 活性的影响[J]. 中外葡萄与葡萄酒, 2017(3): 16-19.

[35] 杨俊枫,史文君,杨 乐,等. 紫外光对'北陆'越橘转色果花青苷积累、关键酶活性及其基因表达的影响[J]. 园艺学报, 2016, 43(4): 663-673.

[36] 华 星. 蓝莓果实关键品质形成规律及花青苷合成相关酶的研究[D]. 北京:北京林业大学, 2012.

高番茄果实的可溶性糖、维生素 C 含量^[11]。但是我国的番茄品种种类越来越多,造成番茄品质不齐,产量不稳定,给农户选择带来了很多困扰。本试验选取市场上相对较好的 5 个番茄品种,在不同土壤中栽培,对番茄的植株生长、产量及品质情况进行调查记录和综合分析,比较碱性土壤对番茄生长及品质的影响,同时对不同的番茄品种进行比较,筛选出更加优质的品种。将筛选出的优质番茄品种在正常土壤和碱性土壤条件下的果实进行转录组

分析,找到关键的差异基因。

1 材料与方法

1.1 试验地点

试验土壤来源:碱性土壤采用盘锦当地的盐碱性土壤,是辽宁省盘锦市大洼区唐家镇(41°02′13″N, 122°10′57″E)滨海盐土,土地开垦的年限为 60 年。正常土壤采用盘锦盐碱地改良土壤进行种植(表 1)。

表 1 碱性土壤与正常土壤的营养成分

土壤	全氮含量 (g/kg)	全磷含量 (g/kg)	全钾含量 (g/kg)	速效氮含量 (mg/kg)	速效磷含量 (mg/kg)	速效钾含量 (mg/kg)	有机质含量 (g/kg)	全盐含量 (%)	pH 值
碱性土壤	1.20	0.95	26.1	111.92	25.00	161.67	20.594	1.69	7.66
正常土壤	1.97	3.54	26.4	244.83	172.74	344.96	22.78	1.47	6.82

1.2 试验品种

本试验选取 5 个番茄品种,分别为鑫圣、辽粉 185、鲜阳、草莓 2 号、精彩 6 号。5 个番茄品种均为无限生长型。

1.3 试验设计

在同一大棚内,于 2020 年 4 月 13 号开始育苗,育苗期为 32 d,于 5 月 9 号开始定植,统一采用温室灌溉系统使用水肥一体化膜下滴管的栽培模式,棚内温度、湿度、水分、植株调整以及病虫害管理一致。对正常土壤和碱性土壤条件下的番茄进行种植,正常土壤和碱性土壤栽培中间设置 5 行保护行,防止正常土壤和碱性土壤相互影响造成试验误差,正常土壤和碱性土壤下番茄品种的栽种顺序为鑫圣、草莓 2 号、精彩 6 号、鲜阳、辽粉 185。

1.4 调查项目

1.4.1 生长发育指标的测定 株高:从番茄定植后开始,每组处理选取 5 株番茄,进行挂牌标记,使用尺子对番茄植株进行测量,测量距离为番茄植株茎基部到生长点。每 15 d 调查 1 次并记录数据。茎粗:从番茄定植后开始,每组处理取 5 株番茄,进行挂牌标记,使用游标卡尺测量番茄主要功能茎基部的距离。每 15 d 调查 1 次并记录数据。

1.4.2 番茄产量测定 单果质量(g):从番茄结果成熟期开始,取同一植株成熟果实 5 颗,测质量,计算 5 颗番茄单果质量的平均值为该株番茄的单果质量。单位面积产量(kg/hm²):根据每组处理的单产量乘以番茄的种植密度,计算得出每组的单位面积产量。

1.4.3 番茄果实品质的测量 可溶性固形物含量的测定:从番茄结果成熟期开始,每组处理取 5 株番茄,随机选取每组处理番茄植株的第 2 穗完全成熟的果实 10 个,采用手持可溶性固形物测量器对第 1 个番茄果实进行测量。每个果实测量 3 次,计算平均值。

可溶性糖含量的测定:参照李合生的蒽酮比色法^[12]进行可溶性糖含量的测定。维生素 C 含量的测定:采用 2,6-二氯靛酚滴定法测定维生素 C 含量^[13]。

计算公式如下:

维生素 C 含量 = $(V - V_0) \times 1\,000\% \times T \div m_0$ 。

式中:V 为滴定样品液所用染料溶液量,mL;V₀ 为滴定空白液所用染料溶液量,mL;T 为染料溶液的滴定度;m 为滴定时样品溶液中样品的质量,g。

有机酸含量测定:参照文献[14]的滴定法。

计算公式:有机酸含量(mg/g) = $6.7aNV/T(V_{m0})$ 。

式中:a 为滴定用去 NaOH 的体积,mL;N 为稀释倍数;VT 为提取液总体积,mL;m₀ 为样品质量,g;V 为滴定时取用的样品体积,mL。

1.4.3 转录组 在不同土壤栽培条件下,采取番茄果实转色时期的果肉和果胶,进行转录组的试验材料,在相同栽培条件下,选取长势接近一致的 3 株植株,在每个植株上随机选取等量的成熟果实为样品,生物学重复 3 次。

1.5 田间管理

1.5.1 水分管理 温室碱地番茄采用水肥一体化

滴灌模式进行灌溉,不适宜大水浇灌。定植期,浇水以浇透不浇涝为宜;缓苗期间要严格控制水分,在保证水分充足的同时,注意调节棚内空气相对湿度;缓苗水之后对碱地番茄进行严格控水,在第 1 个果实开始膨大时浇水,目的是保证果实大小和品质;果实膨大期后,严格控水^[15]。

1.5.2 施肥管理 自碱地番茄结果期开始进行第 1 次追肥,施尿素 90 ~ 120 kg/hm²;自第 2 穗果生长开始进行第 2 次追肥,施尿素 75 ~ 90 kg/hm²、硫酸钾 60 ~ 90 kg/hm²。

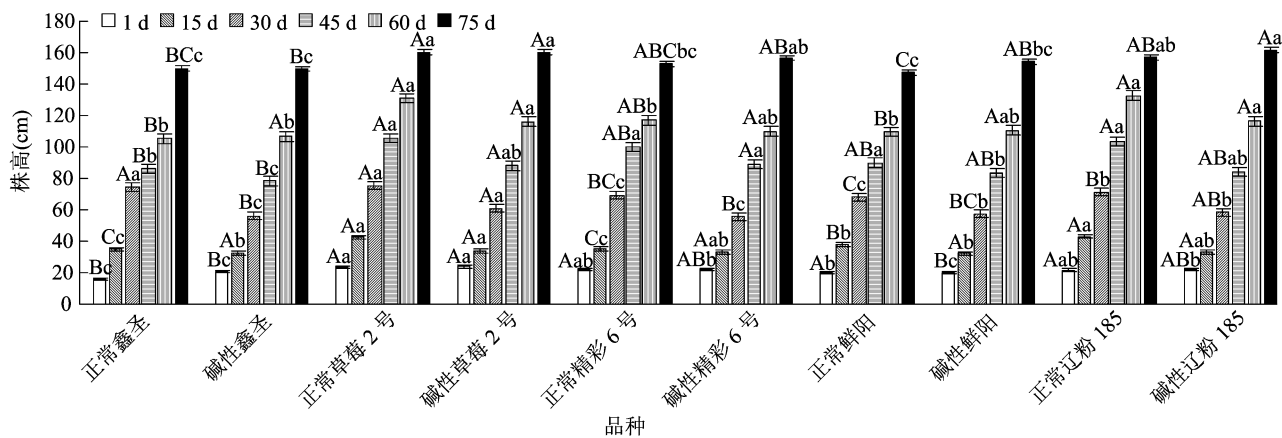
2 结果与分析

2.1 不同土壤栽培下番茄生长指标的比较

2.1.1 不同土壤栽培条件下番茄株高的比较 由图 1 可知,在正常土壤栽培下,草莓 2 号株高较高,比鑫圣处理高出 1.26% ~ 51.24%,其中草莓 2 号

在栽种 2 个月后株高生长较快。鲜阳、精彩 6 号和鑫圣在株高方面数据偏低,整个生长过程中三者株高差异不大。在碱性土壤栽培下,草莓 2 号和辽粉 185 的株高较高,二者比鑫圣处理分别高出 5.17% ~ 16.24%、2.60% ~ 9.06%,鲜阳、精彩 6 号和鑫圣在株高方面数据偏低,整个生长过程中三者株高差异不大。

不同的土壤处理对番茄植株株高的影响不同。在定植时期,番茄植株株高差异不显著,株高相对平均。随着番茄植株正常生长,番茄株高变化也越发的明显。从植株定植后 15 d 开始,不同土壤种植处理的番茄植株株高开始出现不同程度的增长变化,整体表现为正常土壤番茄株高高于碱性土壤番茄株高。这说明碱性土壤对番茄株高的增长具有一定的抑制作用。



柱上不同大写、小写字母表示品种间在 0.01、0.05 水平上差异显著(图中正常土壤栽培下不同番茄品种一起比较,碱性土壤栽培下的不同番茄品种一起比较)。图 2 至图 8 同

图 1 番茄品种在不同土壤下植株株高比较分析

2.1.2 不同土壤栽培条件下番茄茎粗的比较 由图 2 可知,在正常土壤栽培下,草莓 2 号的茎粗较高,比鑫圣处理高出 6.78% ~ 21.14%,辽粉 185 号和鑫圣在茎粗方面数据偏低,整个生长过程中二者茎粗差异不大。在碱性土壤栽培下,草莓 2 号和辽粉 185 的茎粗数据较高(比鑫圣处理高出 9.59% ~ 18.91% 和 7.55% ~ 15.13%),鲜阳、精彩 6 号和鑫圣在茎粗方面数据偏低,整个生长过程中三者茎粗差异不大。

由图 2 可知,不同的土壤种植处理对番茄植株茎粗的影响不同,番茄茎粗在生长发育过程中,种植前期番茄植株茎粗差异不大,从定植后 15 d 起,茎粗逐渐地增大。不同土壤水平处理的番茄植株

茎粗开始呈现不同程度的增长态势,并在整体上表现为正常土壤番茄茎粗高于碱性土壤番茄茎粗。这说明碱性土壤对番茄茎粗的增长具有一定的抑制作用。

2.2 不同土壤栽培下番茄品质比较

2.2.1 不同土壤栽培下番茄果实可溶性糖含量分析 由图 3 可知,在正常土壤下,草莓 2 号的可溶性糖含量最高,显著高于鲜阳、精彩 6 号、辽粉 185、鑫圣,为 7.03%,比鑫圣高 44.65%。精彩 6 号、辽粉 185 可溶性糖含量次之,分别为 6.11%、5.97%,草莓 2 号可溶性糖含量也显著高于鲜阳、鑫圣,比鑫圣高 25.72%、22.84%。精彩 6 号和辽粉 185 果实的可溶性糖含量无显著差异,鲜阳与鑫圣无显著差异。

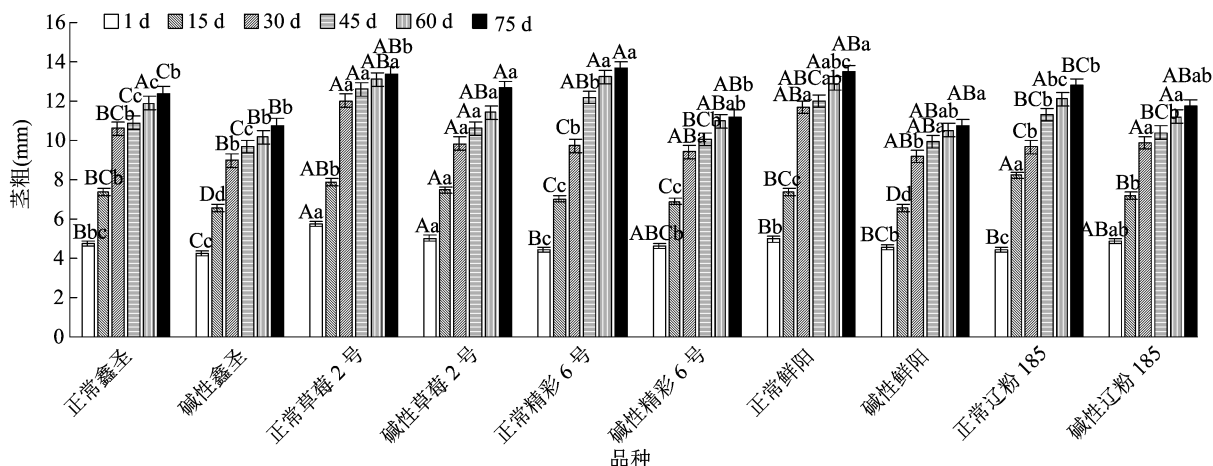


图2 番茄品种在不同土壤下植株茎粗比较分析

在碱性土壤下,所有品种果实的可溶性糖含量均显著高于鑫圣,其中草莓 2 号的可溶性糖含量最高,为 7.45%,显著高于精彩 6 号、辽粉 185、鲜阳。精彩 6 号次之,含量为 6.59%,也显著高于辽粉 185 和鲜阳,比鑫圣高出 43.57%;辽粉 185 和鲜阳的果实可溶性糖含量无显著差异,均为 5.50%,显著高于鑫圣 19.83%。

由图 3 可知,鲜阳、精彩 6 号和草莓 2 号在碱性土壤种植下的果实可溶性糖含量明显高于正常土壤下种植的果实可溶性糖含量,其中鲜阳在碱性土壤下的果实可溶性糖含量较正常土壤下高出 21.68%,精彩 6 号在碱性土壤下的果实可溶性糖含量较正常土壤下高出 7.86%。

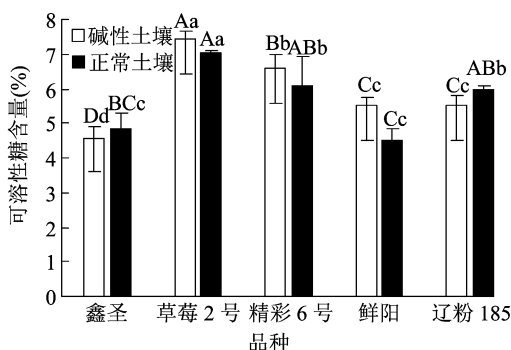


图3 番茄品种在不同土壤下可溶性糖含量比较分析

2.2.2 不同土壤栽培下番茄果实可溶性固形物含量分析 由图 4 可知,在正常土壤下,精彩 6 号和草莓 2 号的可溶性固形物含量最高,分别为 6.13%、5.67%,分别显著高于鑫圣 29.60%、19.87%,精彩 6 号均显著高于辽粉 185 和鲜阳。精彩 6 号和草莓 2 号之间无显著性差异。草莓 2 号、辽粉 185 和鲜阳的可溶性固形物含量之间无显著性差异。辽粉

185 和鲜阳的可溶性固形物含量与鑫圣无显著差异,均为 5.07%。

在碱性土壤下,精彩 6 号和草莓 2 号的可溶性固形物含量最高,分别为 7.03%、6.93%,均显著高于辽粉 185、鲜阳和鑫圣,分别显著高于鑫圣处理 39.76%、37.77%,精彩 6 号和草莓 2 号之间无显著性差异;辽粉 185 和鲜阳的可溶性固形物含量与鑫圣无显著性差异,分别为 5.67%、4.57%。

由图 4 可知,草莓 2 号、辽粉 185 和精彩 6 号在碱性土壤种植下的果实可溶性固形物含量明显高于正常土壤下种植的果实可溶性固形物含量,其中草莓 2 号在碱性土壤下的果实可溶性固形物含量较正常土壤下高出 22.22%,精彩 6 号在碱性土壤下的果实可溶性固形物含量较正常土壤下高出 14.68%。辽粉 185 在碱性土壤下的果实可溶性固形物含量较正常土壤下高出 11.83%。

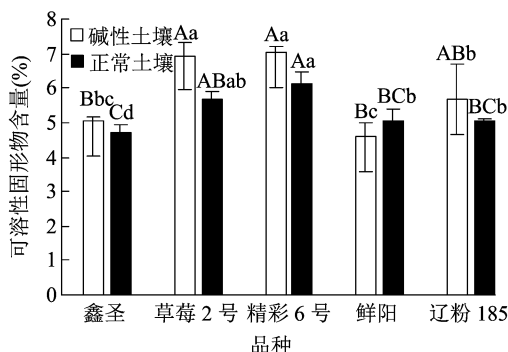


图4 番茄品种在不同土壤下可溶性固形物含量比较分析

2.2.3 不同土壤栽培下番茄果实维生素 C 的含量分析 由图 5 可知,在正常土壤下,草莓 2 号和精彩 6 号的维生素 C 含量最高,分别为 14.94 mg/100 g 和 14.25 mg/100 g,均高于鑫圣,分别高于鑫圣处理

22.86%、17.19%，草莓 2 号和精彩 6 号之间无显著性差异；草莓 2 号显著高于鲜阳和鑫圣。精彩 6 号与辽粉 185 之间无显著性差异，精彩 6 号的维生素 C 含量显著高于鲜阳。辽粉 185、鲜阳和鑫圣之间无显著差异。

在碱性土壤下，精彩 6 号和草莓 2 号的维生素 C 含量最高，均显著高于辽粉 185、鲜阳和鑫圣，分别为 28.44、27.71 mg/100 g，分别显著高于鑫圣处理 78.08%、73.51%，精彩 6 号和草莓 2 号之间无显

著性差异；辽粉 185 的维生素 C 含量显著高于鲜阳和鑫圣，为 22.18 mg/100 g，显著高于鑫圣处理 38.89%；鲜阳的维生素 C 含量与鑫圣无显著性差异。

由图 5 可知，草莓 2 号、鲜阳、鑫圣、精彩 6 号和辽粉 185 在碱性土壤种植下的果实维生素 C 含量均明显高于正常土壤下种植的果实维生素 C 含量。其中精彩 6 号在碱性土壤下的果实维生素 C 含量较正常土壤下高出 99.58%，草莓 2 号在碱性土壤下的果实维生素 C 含量较正常土壤下高 85.48%。

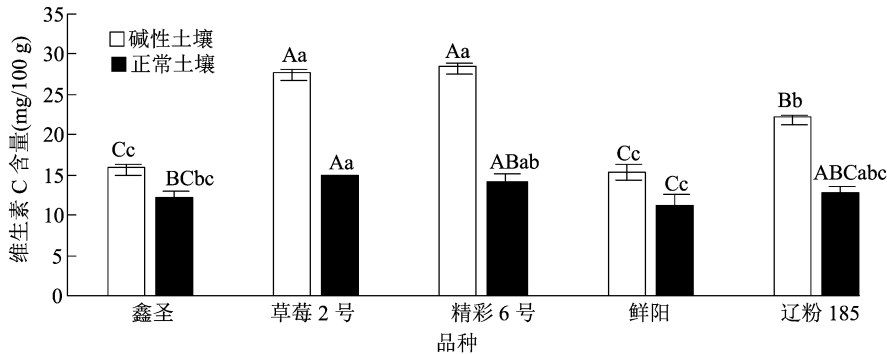


图5 番茄品种在不同土壤下维生素 C 含量比较分析

2.2.4 不同土壤栽培下番茄果实有机酸含量分析

由图 6 可知，在正常土壤下，草莓 2 号果实的有机酸含量均显著低于其他品种。其中鲜阳的有机酸含量最高，为 1.65%，显著高于精彩 6 号、辽粉 185、草莓 2 号，精彩 6 号、辽粉 185 和鑫圣果实有机酸含量间均无显著性差异。

在碱性土壤下，所有品种果实的有机酸含量均显著低于鑫圣，除鑫圣外，鲜阳的有机酸含量最高，

显著高于精彩 6 号、辽粉 185、草莓 2 号，为 1.82%；精彩 6 号、辽粉 185 和草莓 2 号的果实有机酸含量间无显著差异，分别为 1.42%、1.39%、1.39%。

由图 6 可知，鑫圣和鲜阳在碱性土壤种植下的果实有机酸含量明显高于正常土壤下种植的果实有机酸含量，其中鑫圣在碱性土壤下的果实有机酸含量较正常土壤下高出 56.49%，鲜阳在碱性土壤下的果实有机酸含量较正常土壤下高出 10.30%。

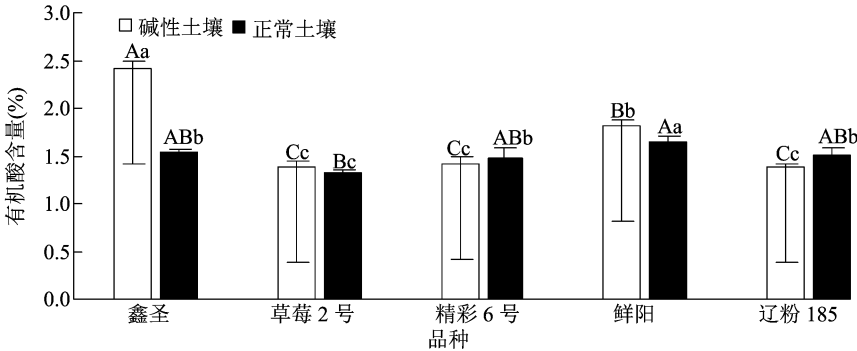


图6 番茄品种在不同土壤下有机酸含量比较分析

2.3 不同土壤栽培下番茄产量的比较

2.3.1 不同土壤栽培下番茄果实产量分析 由图 7 可知，在正常土壤下，辽粉 185 和鲜阳品种果实的产量显著高于草莓 2 号和精彩 6 号，与鑫圣相比无显著差异，草莓 2 号、鑫圣和精彩 6 号品种果实的产

量之间无显著差异。

在碱性土壤下，所有品种果实产量均显著高于鑫圣，草莓 2 号和辽粉 185 的产量之间无显著差异，草莓 2 号的果实产量最高，为 5 102.71 g/hm²，高于鑫圣处理 19.07%，辽粉 185 和精彩 6 号次之，分别

为 5 048、4 999.36 kg/hm², 分别比鑫圣高 17.80% 和 16.67%; 鲜阳的果实产量为 4 909.6 kg/hm², 显著高于鑫圣处理 14.56%。

由图 7 可知, 草莓 2 号、鲜阳、鑫圣、精彩 6 号和辽粉 185 在正常土壤种植下的果实产量均明显高于碱性土壤下种植的果实产量。其中鑫圣在正常土壤下的产量较碱性土壤下高出 33.13%, 鲜阳在正常土壤下的果实产量较碱性土壤下高出 21.19%。

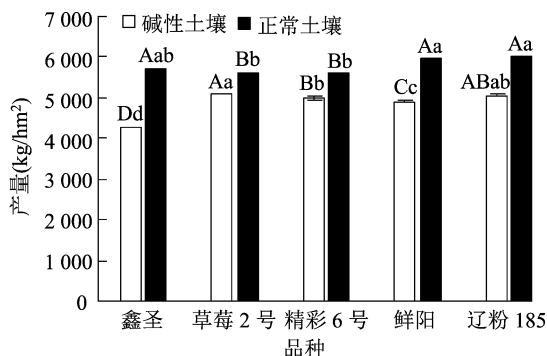


图7 番茄品种在不同土壤下产量比较分析

2.3.2 不同土壤栽培下番茄果实单果质量分析

由图 8 可知, 在正常土壤下, 鲜阳的单果质量最大, 显著高于其他所有品种的单果质量, 为 150.68 g, 显著高于鑫圣处理 14.86%, 草莓 2 号和辽粉 185 的单果质量也相对较大, 分别为 139.28、133.88 g, 分别高于鑫圣处理 6.17%、2.05%。

在碱性土壤下, 鲜阳的单果质量最大, 为 150.00 g, 显著高于其他所有品种的单果质量, 显著高于鑫圣处理 35.61%; 草莓 2 号和精彩 6 号的单果质量也相对较大, 分别为 132.00、128.00 g, 分别显著高于鑫圣处理 19.34%、16.63%; 辽粉 185 的单果质量为 123.88 g, 显著高于鑫圣处理 11.99%。

由图 8 可知, 鑫圣、草莓 2 号、辽粉 185 在正常土壤种植下的果实产量均明显高于碱性土壤下种植的果实单果质量。

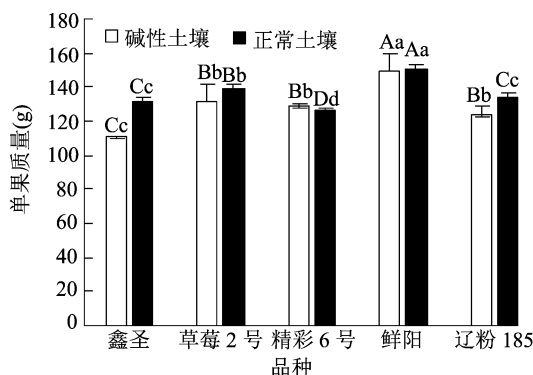


图8 番茄品种在不同土壤下单果质量比较分析

2.4 不同土壤栽培下草莓 2 号番茄果肉及果胶转录组分析

2.4.1 差异表达基因的筛选分析 对基因表达进行差异分析, 使用 DEseq 进行分析, 在正常土壤和碱性土壤的基因测序文库中, 检测出 559 个 DEG 符合检测标准, 在正常土壤和碱性土壤中, 共有 332 个基因表达上调, 227 个基因表达下调(图 9)。

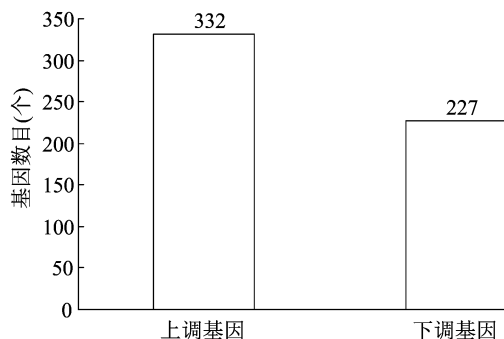


图9 正常土壤和碱性土壤相比差异表达基因(DEG)的统计

从测序结果分析, 在果实品质、生长激素和植物抗性等方面均具有上调基因。果实品质上调基因包括β-番茄红素环化酶基因(*Solyc04g040190.1*)、糖基转移酶基因(*Solyc01g095620.3*、*Solyc07g043050.1*)和UDP-半乳糖转运蛋白4基因(*Solyc04g051500.3*)。激素生长上调基因包括乙烯响应因子基因(*Solyc06g065820.3*)、生长素调节蛋白基因(*Solyc06g075690.3*)。植物抗性上调基因包括: 盐反应蛋白基因(*Solyc03g122190.3*)等出现上调番茄在碱性土壤作用下部分基因表达出现变化。可能在一定程度上改变番茄的生长生理指标、果实品质、果实产量以及植株对抗盐碱性的影响。

2.4.2 差异表达基因的 GO 功能聚类分析 根据 GO 对检测出的 DEG 进行功能分类和富集分析。由图 10 可知, 在正常土壤和碱性土壤中, 有 1 375 个差异基因被注释到了 GO 的各项功能中, 在 GO 的结果功能分类中, 表示分布于生物过程类别的 DEG 数目较多, 在生物过程分类里的化学稳态富集到的 DEG 最多, 其中包含生长素外排载体基因(*Solyc07g006900.2*)和脱落酸 8'-羟化酶基因(*Solyc04g078900.3*)的 DEG 在化学稳态中占比较大, 脱落酸(ABA)是一种重要的植物激素, 在植物生长发育和抗逆中发挥重要作用。脱落酸缺失会抑制番茄果实增质量。因此, 根据 GO 富集分析中的生物过程推测碱性土壤种植的番茄比正常土壤种植的番茄的生长素外排载体和脱落酸的增加, 能够

增加番茄的抗逆性,对植物生长过程产生更大的影响。此外,在正常土壤和碱性土壤中分子功能分类里的 DNA 结合转录因子活性和转录调节因子活性 DEG 富集的最多,其中含有乙烯响应转录因子 (*Solyc06g065820.3*) 和盐反应蛋白 1 (*Solyc03g122190.3*) 等相关的基因,推测碱性土壤

种植的番茄对比正常土壤种植的番茄的植物的生长发育和植物的抗盐胁迫能力较强。在正常土壤和碱性土壤中细胞成分分类里的“细胞周围”“细胞-细胞连接”“胞间连丝”DEG 富集的最多,推测碱性土壤可影响植物细胞的流通,因此推测碱性土壤下栽培能够影响番茄的抗性表达。

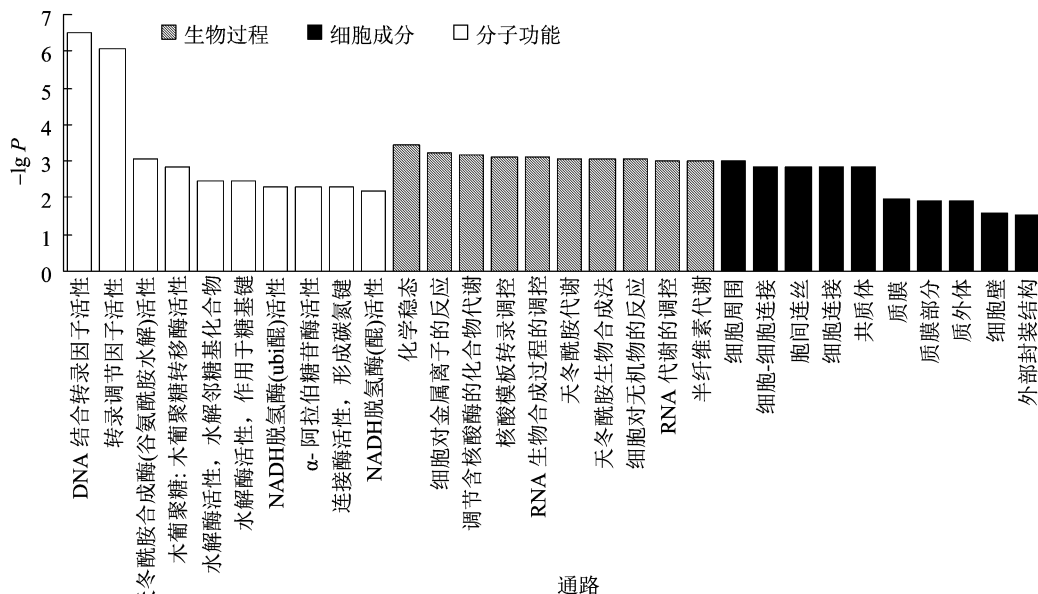


图10 正常土壤和碱性土壤相比差异表达基因 GO 注释分类统计结果

2.4.3 差异表达基因的 KEGG 通路分析 把差异基因体现在 KEGG 上进行富集呈现,在正常土壤和碱性土壤的差异基因 DEG 中,有 52 个差异基因涉及到 KEGG 富集。KEGG 富集分为新陈代谢、生物系统、遗传信息处理、细胞过程和环境信息处理等 5 类,正常土壤和碱性土壤 KEGG Pathway 富集最显著的前 30 个 Pathway 结果见图 11。

由图 11 可知,在碱性土壤下种植的番茄在新陈代谢方面与正常土壤下种植的番茄有明显的变化,正常土壤和碱性土壤处理差异发生变化的基因大部分都集中在新陈代谢里,在最显著的前 30 个 Pathway 里占有 26 个显著 Pathway。在正常土壤和碱性土壤处理下发现在番茄的类胡萝卜素生物合成中番茄红素环化酶 (*sly00906*) 和半乳糖代谢中的糖代谢 (*sly00052*) 基因较为活跃,推测在碱性土壤下种植的番茄类果实品质与正常土壤下种植的番茄有明显的变化。对正常土壤和碱性土壤处理中 DEG 富集度最高的几条 KEGG 途径进行分析,发现在番茄植株的生长激素方面,脱落酸 8'-羟化酶 CYP707A1 基因 (*sly04626*)、植物激素信号转导基因

(*sly04075*)、苯丙素生物合成基因 (*sly00940*) 都与植物的抗盐碱性有关。由此推测在碱性土壤下种植的番茄比正常土壤下种植的番茄更具有抗逆性,对植物生长过程产生更大的影响。

3 讨论与结论

盐碱胁迫会对番茄的生长发育以及代谢造成影响,减少果实产量,减少果实中的水分能够有效提高番茄果实中的果实品质。本研究结果表明,不同土壤处理对番茄果实品质的影响不同,其中在碱性土壤下可溶性固形物、可溶性糖、有机酸、维生素 C 等含量相对较高,且碱性土壤下种植的果实维生素 C 含量均高于在正常土壤种植下的果实维生素 C 含量 (31.98% ~ 99.58%)。这说明在碱性土壤下,番茄果实对养分吸收更加充分,可提高番茄的果实品质。其中对维生素 C 含量的提高是更明显的,对可溶性固形物、可溶性糖和有机酸含量的影响或因品种不同而有不同程度的效果。碱地土壤种植的番茄果实品质明显高于正常土壤条件下种植的果实品质。试验结果进一步证实了碱性土壤的胁迫对

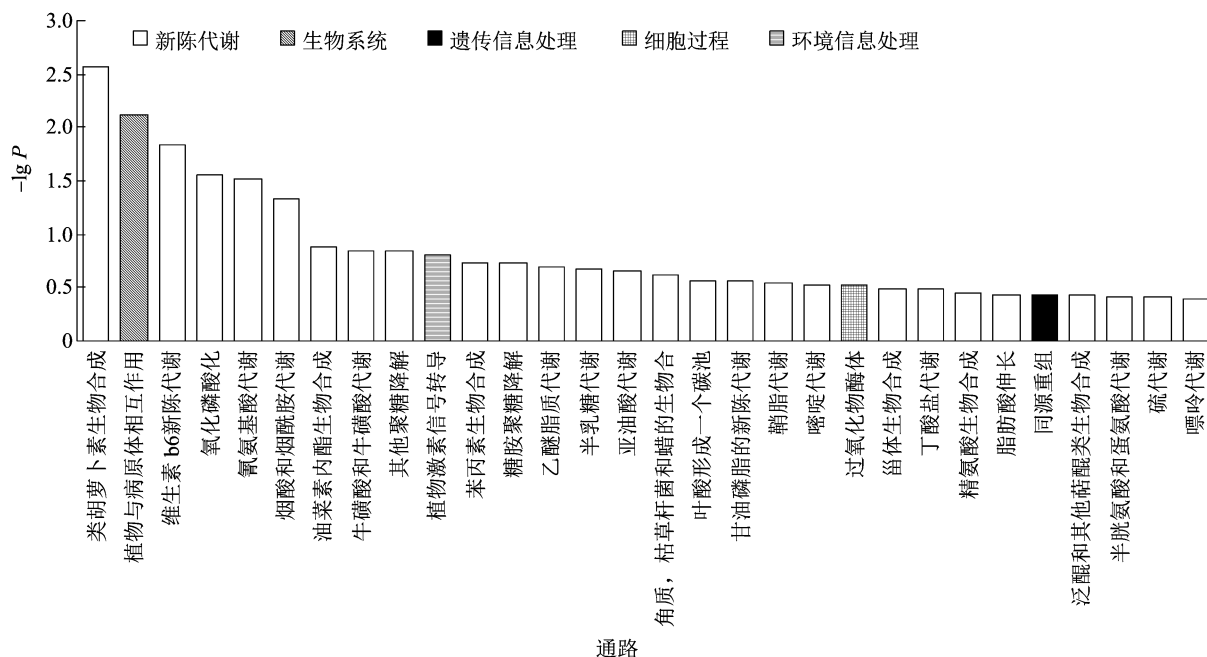


图11 正常土壤和碱性土壤 KEGG Pathway 富集结果

番茄植株生长发育,植物的光合作用、果实大小、果实产量和果质量的增长都具有抑制作用。

随着高通量技术的快速发展,转录组测序技术已经广泛应用于番茄作物不同性状的研究中,在番茄基因方面发挥了重要的作用,本研究对不同土壤条件下栽培的碱地番茄进行转录组分析,检测出 559 个 DEG 符合检测标准,在正常土壤和碱性土壤中,共有 332 个基因表达上调,227 个基因表达下调。通过基因功能注释、GO 和 KEGG Pathway 功能富集分析,发现在果实品质方面,碱性土壤栽培下的番茄的类胡萝卜素生物合成中番茄红素环化酶基因 (*slly00906*) 和半乳糖代谢中的糖代谢基因 (*slly00052*) 比正常土壤栽培下番茄的基因较为活跃。番茄红素是番茄品质的重要指标,是迄今为止自然界中被发现的最强抗氧化剂之一。证实了前人的结论:pH 值对番茄红素有影响,番茄红素对酸不稳定,对碱则比较稳定。试验结果进一步证实了碱性土壤栽培下的番茄品质高于正常土壤栽培下的番茄品质。

参考文献:

[1] 袁东升,王晓敏,赵宇飞,等. 100 份番茄种质资源表型性状的遗传多样性分析[J]. 西北农业学报,2019,28(4):594-601.
[2] 沈红芬,张依群. 设施栽培番茄新品种比较试验[J]. 长江蔬菜,2009(8):42-43.

[3] 李培之,袁志永. 光伏蔬菜大棚发展前景展望[J]. 农业工程技术(温室园艺),2013,33(10):26.
[4] 田 鹏. 太原地区温室番茄限产因素探讨——光照、温度对产量的影响[D]. 太谷:山西农业大学,2004.
[5] 梁 静,王丽英,陈 清,等. 我国设施番茄氮肥施用量现状及其利用率、产量影响和地力贡献率分析评价[J]. 中国蔬菜,2015(10):16-21.
[6] 党世耀. 浅谈我国设施园艺概况及发展趋势[J]. 种子科技,2018,36(12):25,30.
[7] 尚乐乐,宋建文,王嘉颖,等. 番茄果实品质形成及其分子机理研究进展[J]. 中国蔬菜,2019(4):21-28.
[8] 魏 明. 中国番茄产业国际竞争力分析[J]. 农产品加工(创新版),2009(5):46-49.
[9] 周明明. 大洼区碱地番茄水肥一体化技术试验报告[J]. 农民致富之友,2019(14):155.
[10] 刘德兴,荆 鑫,焦 娟,等. 嫁接对番茄产量、品质及耐盐性影响的综合评价[J]. 园艺学报,2017,44(6):1094-1104.
[11] 齐红岩,李天来,邹琳娜,等. 番茄果实不同发育阶段糖分组成和含量变化的研究初报[J]. 沈阳农业大学学报,2001,32(5):346-348.
[12] 李合生. 植物生理生化实验原理和技术[M]. 北京:高等教育出版社,2000.
[13] 邹 琦. 植物生理学实验指导[M]. 北京:中国农业出版社,2000.
[14] 王晶英. 植物生理生化实验技术与原理[M]. 哈尔滨:东北林业大学出版社,2003.
[15] 郝 鹏,江宏伟,安 利,等. 盘锦市温室碱地番茄栽培技术[J]. 现代农业科技,2021(24):50-51.