

分类号: S66  
学号: 20222112015

密级: 公开  
单位代码: 10759

# 石河子大学

## 硕士学位论文



### 穴贮砖对南疆设施石榴、无花果生长及土壤特性的影响

学位申请人

梁天强

指导教师

于坤 副教授

胡明武 高级农艺师

申请学位类别

专业硕士

专业名称

农业硕士

研究领域

农艺与种业

所在学院

农学院

中国·新疆·石河子

2024年6月

分类号: S66  
学号: 20222112015

密级: 公开  
单位代码: 10759

# 石河子大学

## 硕士学位论文



### 穴贮砖对南疆设施石榴、无花果生长及土壤特性的影响

学位申请人	梁天强
指导教师	于坤 副教授 胡明武 高级农艺师
申请学位类别	专业硕士
专业名称	农业硕士
研究领域	农艺与种业
所在学院	农学院

中国·新疆·石河子

2024年6月

**Effects of hole storage brick on the growth of pomegranate and fig  
and soil properties in Southern Xinjiang Facilities**

A Dissertation Submitted to

**Shihezi University**

In Partial Fulfillment of the Requirements

for the Degree of

**Master of Agriculture**

By

**Liang Tian-qiang**

**Agronomy and seed industry**

Dissertation Supervisor: Associate Professor. Yu Kun

Senior agronomist. Hu ming-wu

June, 2024

# 石河子大学学位论文独创性声明及使用授权声明

## 学位论文独创性声明

本人所呈交的学位论文是在我导师的指导下进行的研究工作及取得的研究成果。据我所知，除文中已经注明引用的内容外，本论文不包含其他个人已经发表或撰写过的研究成果。对本文的研究做出重要贡献的个人和集体，均已在文中作了明确的说明并表示谢意。

研究生签名：梁天强

时间：2024年5月20日

## 使用授权声明

本人完全了解石河子大学有关保留、使用学位论文的规定，学校有权保留学位论文并向国家主管部门或指定机构送交论文的电子版和纸质版。有权将学位论文在学校图书馆保存并允许被查阅。有权自行或许可他人将学位论文编入有关数据库提供检索服务。有权将学位论文的标题和摘要汇编出版。保密的学位论文在解密后适用本规定。

研究生签名：梁天强

时间：2024年5月20日

导师签名：于坤

时间：2024年5月20日

## 摘要

**【目的】**针对南疆沙地果树生产中肥料投入不科学及水肥易渗漏的问题，探究在地下滴灌条件下施加穴贮砖对石榴、无花果生长及土壤特性的影响。

**【方法】**以4年生‘突尼斯’软籽石榴和5年生‘金傲芬’无花果为试材，设置无穴贮砖（CK）和施加穴贮砖（T）两种处理，采用地下滴灌方式对植株进行日常水肥管理，研究施加穴贮砖对沙地土壤种植的两种植物生长发育、光合特性、果实品质、产量、土壤肥力及酶活性的影响。

**【结果】**（1）穴贮砖对石榴的影响：在施加穴贮砖90 d后，T处理显著增长了植株新梢长度、粗度，叶片长度、宽度，叶柄长度以及节间长度，对叶柄粗度未有显著影响；T处理对植株根中N、Zn，茎中K、Ca及叶中P、Mg含量均有显著提高，对茎中的Zn含量有显著降低效果，而对各器官Fe、Cu、Mn含量未有显著影响；T处理显著提高了叶片净光合速率和瞬时水分利用率日变化中的最大值，显著提升了果实可溶性糖、可溶性固形物、糖酸比、固酸比以及果实横径，对果实可滴定酸、维生素C含量以及果实纵径、果形指数、单果重、单株产量均未有显著影响。

T处理显著提升了20-40 cm土层处的土壤含水量，显著提升了0-20 cm土层土壤中全Fe，20-40 cm土层土壤中全N、全P、全K、全Mg、全Cu、全Mn以及40-60 cm土层土壤中全N、全Cu含量；T处理显著降低了20-40 cm土层土壤pH和电导率，显著提升了20-40 cm土层土壤中有机质、碱解氮、速效磷、速效钾含量，对20-40 cm土层土壤蔗糖酶、过氧化氢酶和40-60 cm土层土壤脲酶和碱性磷酸酶活性也均有显著提升作用。

（2）穴贮砖对无花果的影响：在施加穴贮砖90 d后，T处理显著增长了植株新梢长度、粗度，叶片长度、宽度，叶柄长度、粗度，对节间长度未有显著影响；T处理对植株根中Fe，茎中P、K、Ca及叶中N、P、K、Zn、Mg元素含量均有显著提升，对叶中的Cu含量有显著降低效果；T处理显著提升了叶片净光合速率和气孔导度日变化中的最大值，显著提升了果实可溶性糖、糖酸比、果实横径、单果重以及单株产量，显著降低了可滴定酸含量，对果实纵径、果形指数、可溶性固形物、固酸比、维生素C含量无显著影响。

T处理显著提升了20-60 cm土层土壤含水量，显著提升了0-20 cm土层中全P、全Mg，20-40 cm土层土壤全N、全K、全Mn以及40-60 cm土层土壤全N、全Fe、全Mg含量，显著降低了40-60 cm土层全P含量，对土壤全Zn、全Ca、全Cu含量无显著影响；T处理显著降低了0-40 cm土层土壤pH和0-20 cm土层土壤电导率；T处理显著提升了20-40 cm土层土壤中有机质、碱解氮以及速效磷含量，显著降低了40-60 cm土层土壤速效钾含量；T处理对0-20 cm土壤脲酶活性和20-40 cm土层土壤蔗糖酶活性有显著提升，同时对20-40 cm土层碱性磷酸酶活性有显著降低效果。

**【结论】**在温室滴灌条件下施加穴贮砖可促进南疆石榴和无花果的生长发育以及养分吸收，有利于两种植物光合特性以及果实品质的提高，有效提升了沙地土壤中的含水量、土壤肥力以及酶活性；相关性分析表明施加穴贮砖后通过增加土壤中全P、全K和有机质含量是促进石榴植株不同器官养分吸收的主要因素，而对无花果则是增加土壤中全K、含水量、蔗糖酶活性和降低土壤pH，提升了植株的养分含量。因此，施加穴贮砖可作为南疆沙地土壤保持水肥及促进果树生长的技术参考。

**关键词：**穴贮砖；石榴；无花果；生长；土壤

## Abstract

**【 Objective 】** Aiming at the problems of unscientific fertilizer input and easy leakage of water and fertilizer in the production of fruit trees in the sandy land of southern Xinjiang, the effects of applying hole storage brick under subsurface drip irrigation on the growth and soil characteristics of pomegranate and fig were explored.

**【 Method 】** With 4-year-old ' Tunisia ' soft-seed pomegranate and 5-year-old ' Jinaofen ' fig as test materials, two treatments of hole-free storage brick ( CK ) and hole storage brick ( T ) were set up, and the daily water and fertilizer management of plants was carried out by subsurface drip irrigation. The effects of hole storage brick on the growth and development, photosynthetic characteristics, fruit quality, yield, soil fertility and enzyme activity of two kinds of facility fruit trees planted in sandy soil were studied.

**【 Result 】** ( 1 ) The effect of cavity storage brick on pomegranate: 90 d after applying cavity storage bricks, T treatment significantly increased the length and thickness of new shoots of plants, the length and width of leaves, the length of petiole as well as the length of internodes, and did not have a significant effect on the thickness of petiole; T treatment had a significant increase in the content of N and Zn in roots, K and Ca in stems and P and Mg in leaves, and had a significant reduction in the Zn content of stems, and did not have a significant effect on the content of Fe, Cu, and Mn in organs; T treatment significantly increased the daily maximum of net photosynthetic rate and instantaneous water utilisation of leaves, and significantly increased the fruit soluble sugar, soluble solids, and soluble soluble solids. T treatment significantly increased the maximum value of net photosynthetic rate and instantaneous water utilisation rate of leaves in the daily variation, and significantly improved the fruit soluble sugar, soluble solids, sugar-acid ratio, solid-acid ratio and fruit transverse diameter, while it had no significant effect on fruit titratable acid, vitamin C content, fruit longitudinal diameter, fruit shape index, single fruit weight and single plant yield.

T treatment significantly increased the soil water content at 20-40 cm soil horizon, significantly increased the content of all Fe in 0-20 cm soil horizon, all N, all P, all K, all Mg, all Cu, all Mn in 20-40 cm soil horizon, and all N, all Cu in 40-60 cm soil horizon; T treatment significantly decreased the soil pH and electrical conductivity in 20-40 cm soil horizon, significantly increased the content of organic matter, alkaline dissolved nitrogen, quick-acting phosphorus, quick-acting potassium in 20-40 cm soil horizon, and significantly increased the content of sucrase, peroxidase, and sucrase, peroxidase, quick-acting phosphorus, quick-acting potassium in 40-60 cm soil horizon. T treatment significantly reduced the pH and conductivity of the 20-40 cm soil layer, significantly increased the content of organic matter, alkaline dissolved nitrogen, quick-acting phosphorus and quick-acting potassium, and significantly increased the activities of sucrase and catalase in the 20-40 cm soil layer, and urease and alkaline phosphatase in the 40-60 cm soil layer.

( 2 ) The effect of hole storage brick on figs: 90 d after the application of hole storage bricks, the T treatment significantly increased the length and thickness of new shoots, the length and width of leaf blades, the length and thickness of petioles, and had no significant effect on the length of internodes; the T treatment had a significant increase in the content of Fe in the roots, P, K, Ca in the stems, and the content of N, P, K, Zn, and Mg in leaves, and had a significant reduction in the content of Cu in the leaves. T treatment significantly increased the maximum values of leaf net photosynthetic rate and stomatal conductance in daily variation, significantly increased fruit soluble sugar, sugar-acid ratio, fruit transverse diameter, single fruit weight, and yield per plant, significantly decreased titratable acid content, and had no significant effect on fruit longitudinal diameter, fruit shape index, soluble solids, solid-acid ratio, and vitamin C content.

T treatment significantly increased the soil water content in 20-60 cm soil layer, significantly increased the contents of total P and total Mg in 0-20 cm soil layer, total N, total K and total Mn in 20-40 cm soil layer, and total N, total Fe and total Mg in 40-60 cm soil layer, significantly reduced the total P content in 40-60 cm soil layer, and had no significant effect on the contents of total Zn, total Ca and total Cu in soil. T treatment significantly reduced soil pH in 0-40 cm soil layer and soil electrical conductivity in 0-20 cm soil layer. T treatment significantly increased the content of organic matter, alkali-hydrolyzable nitrogen and available phosphorus in 20-40 cm soil layer, and significantly reduced the content of available potassium in 40-60 cm soil layer. T treatment significantly increased the urease activity in 0-20 cm soil layer and the sucrase activity in 20-40 cm soil layer, and significantly decreased the alkaline phosphatase activity in 20-40 cm soil layer.

**【 Conclusion 】** The application of hole storage brick under greenhouse drip irrigation can promote the growth, development and nutrient absorption of pomegranate and fig in southern Xinjiang, which is conducive to the improvement of photosynthetic characteristics and fruit quality of the two fruit trees, and effectively improve the water content, soil fertility and soil enzyme activity in sandy soil; the correlation analysis shows that the application of hole storage brick can promote the nutrient absorption of pomegranate by increasing the content of whole P, whole K and organic matter in the soil, which is the main factor to promote the nutrient absorption of pomegranate. The correlation analysis showed that the application of hole storage brick promoted the nutrient uptake of different organs of pomegranate plants by increasing the total P, total K, and organic matter contents of the soil, whereas the nutrient contents of the plants were enhanced by increasing the total K, water content, sucrase activity, and decreasing the soil pH of the soil for figs. Therefore, the application of hole storage brick can be used as a technical reference for soil water and fertiliser conservation and promotion of fruit tree growth in sandy soils of southern Xinjiang.

**Key words:** Hole storage brick; Pomegranate; Fig; Growth ; Soil

# 目录

引言 .....	1
第 1 章 文献综述 .....	3
1.1 石榴和无花果在新疆发展概述 .....	3
1.1.1 石榴发展概述 .....	3
1.1.2 无花果发展概述 .....	3
1.2 穴贮滴灌技术国内外研究进展 .....	4
1.2.1 滴灌技术的研究进展 .....	4
1.2.2 根区局部水肥供应研究进展 .....	5
1.2.3 穴贮肥水技术及穴贮砖的研究进展 .....	6
1.3 研究目的与内容 .....	7
1.3.1 研究目的 .....	7
1.3.2 研究内容 .....	7
1.3.3 技术路线 .....	8
第 2 章 穴贮砖对南疆设施石榴生长及土壤特性的影响 .....	9
2.1 材料与方法 .....	9
2.1.1 试验区概况 .....	9
2.1.2 试验材料及设计 .....	10
2.1.3 试验项目测定及方法 .....	10
2.1.4 数据处理 .....	12
2.2 结果与分析 .....	13
2.2.1 穴贮砖对石榴植株生长及养分吸收的影响 .....	13
2.2.2 穴贮砖对石榴植株光合特性的影响 .....	17
2.2.3 穴贮砖对石榴果实品质及产量的影响 .....	19
2.2.4 穴贮砖对石榴土壤理化性质及酶活性的影响 .....	21
2.3 讨论 .....	26
2.3.1 穴贮砖对石榴植株生长及养分吸收的影响 .....	26
2.3.2 穴贮砖对石榴植株光合特性的影响 .....	27
2.3.3 穴贮砖对石榴果实品质及产量的影响 .....	27
2.3.4 穴贮砖对石榴土壤理化性质及酶活性的影响 .....	28
2.4 小结 .....	29

第3章 穴贮砖对南疆设施无花果生长及土壤特性的影响 .....	30
3.1 材料与方法 .....	30
3.1.1 试验区概况 .....	30
3.1.2 试验材料及设计 .....	30
3.2 结果与分析 .....	31
3.2.1 穴贮砖对无花果植株生长及养分吸收的影响 .....	31
3.2.2 穴贮砖对无花果植株光合特性的影响 .....	35
3.2.3 穴贮砖对无花果果实品质及产量的影响 .....	38
3.2.4 穴贮砖对无花果土壤理化性质及酶活性的影响 .....	39
3.3 讨论 .....	45
3.3.1 穴贮砖对无花果植株生长及养分吸收的影响 .....	45
3.3.2 穴贮砖对无花果植株光合特性的影响 .....	46
3.3.3 穴贮砖对无花果果实品质及产量的影响 .....	46
3.3.4 穴贮砖对无花果土壤理化性质及酶活性的影响 .....	47
3.4 小结 .....	47
第4章 结论与展望 .....	49
4.1 结论 .....	49
4.1.1 穴贮砖对南疆设施石榴生长及土壤特性的影响 .....	49
4.1.2 穴贮砖对南疆设施无花果生长及土壤特性的影响 .....	49
4.2 展望 .....	50
参考文献 .....	51
致谢 .....	60
作者简介 .....	63

## 缩略词表

英文缩写	英文全称	中文全称
AK	Available potassium	速效钾
AN	Available nitrogen	碱解氮
CAT	Catalase	过氧化氢酶
Ci	Intercellular CO <sub>2</sub> concentration	胞间二氧化碳浓度
Gs	Stomatal conductivity	气孔导度
K	Kalium	钾
N	Nitrogen	氮
OP	Olsen phosphorus	速效磷
P	Phosphorus	磷
Pn	Net photosynthetic rate	净光合速率
S-ALP	Alkaline phosphatase	碱性磷酸酶
Tr	Transpiration rate	蒸腾速率
URE	Urease	脲酶
VC	Vitamin C content	维生素 C 含量
WUE	Water use efficiency	水分利用效率

## 引言

新疆是我国沙漠面积最大的省区，在沙漠戈壁区域发展设施农业是克服我国人多地少制约可持续发展问题的有效手段<sup>[1]</sup>，特别是位于全球第二大沙漠-塔克拉玛干沙漠（Taklimakan Desert, TD）边缘的南疆地区，温室果树栽培已成为当地发展现代农业，实现农业增效与农民增收的新兴支柱产业<sup>[2]</sup>。

石榴（*Punica granatum* L.）属石榴科石榴属植物，是集绿化、观赏、食用、保健功能于一身的优良树种，在南疆和田、阿图什、喀什地区已形成规模化种植<sup>[3,4]</sup>。突尼斯软籽石榴（*Punica granatum* 'Tunisia'）作为我国早期首例引种成功的石榴品种，因其软籽可食、甜而无渣、经济价值高等特性深受消费者和种植者喜爱<sup>[5]</sup>，目前已成为南疆石榴主产区引种栽培的主流品种<sup>[6]</sup>。

无花果（*Ficus carica* L.）属于桑科榕属果树<sup>[7]</sup>，其果实皮薄汁多，风味独特，可鲜食、制干、制脯和制酱<sup>[8]</sup>。新疆南部地区凭借得天独厚的光热资源，有着全国第二大的无花果种植面积，无花果是当地特色果树和农民收入的重要经济来源之一<sup>[9]</sup>。然而，新疆沙地土壤有机质少，碱度高，蓄水保肥能力差等特点是制约林果业稳定发展的关键因素，再加上不合理的温室水肥管理，不仅使土壤生产力下降，而且还造成地下水污染、水体富营养化等一系列生态环境问题<sup>[10,11]</sup>。因此，探寻适用于沙质土壤的水肥保持方法对于促进南疆设施农业发展具有重要意义。

穴贮肥水技术是一项具有抗旱保肥效果的果树栽培技术<sup>[12]</sup>。穴贮肥水技术是通过提高局部土体的肥水供应强度，对根系生长起着超强补偿作用，从而促进整个植株的生长发育<sup>[13]</sup>。但上述技术需对每株果树单独进行灌溉和施肥，单株差异大，不适合现代农业体系下的规模化、标准化生产<sup>[14]</sup>。近年来，土壤改良剂的应用成为国内外学者的研究热点。土壤改良剂通常含有以水为媒介的高活性物质，能够改善土壤结构，减少养分的淋失<sup>[15]</sup>。Turan 等<sup>[16]</sup>指出，蛭石可减少畜禽粪便堆肥过程中 41.7%的氨挥发。Tahir 等<sup>[17]</sup>在沙地土壤中加入蒙脱石后，土壤速效氮、速效磷含量分别增加了 17.6 mg/kg、2.4 mg/kg。顾美英等<sup>[18]</sup>研究表明，在连作棉田的根际土壤中施用生物炭能明显提高新疆灰漠土和风沙土的养分含量，并且改善土壤微生物群落结构与功能。有机肥被广泛用于改善土壤理化性状，有机肥中含有大量的氮、磷、钾与矿质元素，有助于补充土壤养分库以及提高土壤微生物对底物碳源的利用率<sup>[19]</sup>。前人已有大量研究表明，土壤改良剂配施有机肥较单一施加改良剂对改善土壤板结<sup>[20]</sup>、酸化<sup>[21]</sup>、盐渍化<sup>[22]</sup>、重金属污染<sup>[23]</sup>等方面效果显著。然而，目前关于有机无机材料联合施用对沙地土壤的应用及果树生长的研究却鲜有报道，并且改良剂在施用时常以撒施混合土壤的形式，这样的方式往往施肥量大、利用率低、施用效果不持久<sup>[24]</sup>。

因此,本研究针对南疆沙地土壤水肥易渗漏的特点,在传统的穴贮肥水技术启发下,结合有机肥和一些具有保水保肥效果的土壤改良剂制作成“穴贮砖”,穴施于土壤中植株根系附近,同时搭配地下滴灌技术对植株进行日常水肥供给。本研究通过探讨施加穴贮砖对南疆两种设施果树生长发育及土壤理化性质的影响,以期为西北沙漠边缘地区促进果树高效、可持续生产提供技术参考和理论依据。

## 第1章 文献综述

### 1.1 石榴和无花果在新疆发展概述

#### 1.1.1 石榴发展概述

石榴原产于中亚地区，种质资源丰富，目前在全球已有 1100 多个栽培品种<sup>[25]</sup>。石榴是新疆的传统特色果树，它除了具有很高的营养价值外，还象征着民族团结、多子多福，深受当地人们青睐<sup>[26]</sup>。近年来随着新疆农业结构调整以及无公害、绿色食品标准化技术的推广，高品质高效益的石榴进一步被消费者和种植户欢迎<sup>[4]</sup>，石榴的品种根据种子的软硬程度，可将其划分为软籽、半软籽（半硬籽）和硬籽石榴，与硬籽石榴相比，软籽石榴（种子硬度  $< 4.5 \text{ kg/cm}^2$ ）种仁退化变软，食之无渣，可食率高，生产与消费市场潜力巨大<sup>[27]</sup>。截止到 2022 年，中国石榴栽培面积约 8 万  $\text{hm}^2$ ，其中软籽石榴约 6.67 万  $\text{hm}^2$ ，约占 83%，且主栽品种‘突尼斯’软籽石榴占软籽石榴的 95%以上<sup>[3]</sup>。‘突尼斯’软籽石榴（*Punica granatum* ‘Tunisia’）于 1986 年从突尼斯引入我国，是我国早期首例引种成功的软籽品种，因其早熟、籽粒大、色泽鲜艳、籽粒软，抗旱、适应性强和果实品质突出等特点，深受广大生产者和消费者的欢迎与认可<sup>[28]</sup>。长期以来，南疆沙地土壤干旱和贫瘠一直是限制当地石榴生长发育的关键因素，单一的施肥与灌水往往不能有效改善植物的生长状况<sup>[29]</sup>。因此，探寻适宜软籽石榴在新疆沙地土壤生长发育的水肥增效措施，进而提高其水肥利用效率，对促进新疆石榴产业可持续发展具有重要的意义。

#### 1.1.2 无花果发展概述

无花果原产于欧洲地中海沿岸和中亚地区，主要生长于热带、亚热带、温带地区，是人类驯化最早的经济树种之一<sup>[30]</sup>。无花果在中国已经有 1000 多年的引种栽培历史。截至 2019 年，我国无花果种植面积达 2.7 万  $\text{hm}^2$ ，鲜果产量近 50 万吨，目前全世界的无花果品种已超过了 700 种，我国约有 120 种<sup>[31]</sup>。无花果不同栽培品种的果实形状、大小、颜色差异很大，按形状分为长圆、椭圆、扁圆、近圆、球形，果皮颜色有红色、黄色、紫色或绿色，同时果肉颜色也有深红色、浅红或浅黄色<sup>[32]</sup>。新疆是我国最早栽培无花果的省份，目前种植面积全国第二，其果树在新疆喀什、阿图什、库车和和田地区均有栽培，目前引种栽培表现较好的品种主要有‘波姬红’、‘青皮’、‘布兰瑞克’、‘日本紫果’、‘金傲芬’等<sup>[31]</sup>。其中‘金傲芬’属于中熟品种，果实皮薄无核、肉质

松软、口感甘甜，食用率高达 90%以上，其果树定植后当年即可结果，第 3 年进入盛果期，产量高，收益快<sup>[33]</sup>。无花果植株生长发育期间科学的水肥管理是产业健康发展的必要条件，同时随着新疆设施农业快速发展，对集约化、标准化水肥管理也提出了更高的要求<sup>[34]</sup>，然而，目前当地设施管理水平大多粗放不规范，水肥管理仅凭经验，准确性不高，且大多数种植户受传统“大水大肥”施肥观念的影响，导致设施果树种植肥料施用量大、水肥利用率低、水体富营养化等问题<sup>[35]</sup>。沙地土壤水肥易渗漏的特点很大程度上制约了当地无花果高产、高效和可持续发展，科学合理施肥不仅是提高果实品质和产量的有效手段，也是获得绿色果实的基本前提<sup>[36]</sup>。

## 1.2 穴贮滴灌技术国内外研究进展

### 1.2.1 滴灌技术的研究进展

我国人均水资源量约为世界人均水资源的 1/4，位于世界第 109 位，是世界上 13 个最缺水的国家之一<sup>[37]</sup>。我国农业是一个高用水量行业，占到全国用水量的 66%左右，但水分利用效率却相对较低，仅为 1.0 kg/m<sup>3</sup>左右，远远低于发达国家的水平<sup>[38]</sup>。新疆地处我国西北内陆干旱区，其多年平均降水量约为 150 mm，蒸发量约为 3000 mm，2021 年全年总用水量 571.4 亿平方米，其中农业用水占总用水量的 92%<sup>[39]</sup>。滴灌是一种用水效率高的节水灌溉技术，可有效避免地表径流损失，地下渗漏损失少，田间蒸发损耗小<sup>[40]</sup>。我国对滴灌技术进行研究是在 20 世纪 70 年代，于 21 世纪初滴灌技术开始迅速发展，从 2003 年至 2022 年滴灌面积从 26.7 万 hm<sup>2</sup>发展到 698 万 hm<sup>2</sup>，增加了 26 倍<sup>[41, 42]</sup>。滴灌是直接将输水管道埋于地下或放置于植物根部，可通过在原有滴灌设备上增加供肥设施，降低肥料农药施用量，同时其自动化程度高，可减少劳动力和运行管理成本。故而国内外众多学者对滴灌技术展开了研究。

滴灌水肥一体化技术是提高养分和水分利用效率，减少资源浪费的有效方法<sup>[43]</sup>。Wang 等<sup>[44]</sup>在研究中发现，与漫灌施肥相比，滴灌施肥能明显降低肥料的气态挥发和淋洗损失，提高水分利用效率。Fanish 等<sup>[45]</sup>研究表明，与沟灌方式比较，滴灌玉米增产 35%，水分利用效率提高 9.52%。邓兰生等<sup>[46]</sup>在对比滴灌水肥一体化技术和滴灌撒施化肥的研究中发现，滴灌水肥一体化技术显著提高了作物氮肥利用率 8.75%~21.5%。王允喜等<sup>[47]</sup>研究表明，较小的滴灌带间距有利于干旱地区以及沙质土地上的作物生长发育，水分充足地区的作物则应该使用较大的间距。在近 20 余年，人们对果树水肥调亏灌溉<sup>[48]</sup>、根系生长分区交替灌溉<sup>[49]</sup>、以及果园隔行交替灌溉<sup>[50]</sup>等进行了大量研究。在各种滴灌方法与工艺中，传统的地面滴灌因其设备简便、易于安装、维修而广泛应用于生产中<sup>[51]</sup>，但同时也引起了根系上浮、根区浸润范围小以及对果树等多年生作物不适用等问题<sup>[52]</sup>。

我国地下滴灌系统于1980年开始用滴灌带在果树和作物牧草等研究与应用,该灌溉系统在低压下可直接向植物根系输送水分<sup>[53]</sup>。地下滴灌可以有效地控制灌溉水、肥料等营养物质向深层渗漏,从而减少地下水污染的风险,此外,地下滴灌系统能够适应不同深度根系植物的生长需求<sup>[54]</sup>。王振华等<sup>[55]</sup>针对新疆农田残膜污染的问题提出了棉花育苗移栽地下滴灌技术,发现该技术能充分发挥移栽和地下滴灌技术集成效益。仵峰等<sup>[56]</sup>在新疆、甘肃和广西三个试验区进行地下滴灌和膜下滴灌技术的比较,发现地下滴灌系统下的棉花产量较膜下滴灌略有增产。王宏洋等<sup>[57]</sup>研究表明,新疆呼图壁示范区地下滴灌苜蓿干草产量达到15000~18000 kg/hm<sup>2</sup>,节水率达到40%~50%,水分利用效率由漫灌的1.33 g/L提高到3.3 g/L。李显激等<sup>[58]</sup>认为新疆地下滴灌棉田一次性滴灌带埋深为15 cm时具有较好的根区淡化脱盐效果及单方水淡化脱盐效率。总体而言,前人通过地下滴灌技术在不同作物的大量研究表明,该技术的应用发展对我国提升作物水肥利用效率和作物产量具有重要意义。

### 1.2.2 根区局部水肥供应研究进展

根区局部水肥供应是基于作物生理特性,通过调控作物局部区域的水肥供应,促进作物根系吸收水分,调整气孔开度,降低农田土壤蒸发,从而提高作物产量<sup>[59]</sup>。近年来,国内外有关根区局部水肥供应的研究提出了限水灌溉、非充分灌溉、调亏灌溉以及根系分区交替灌溉等一些新的大田水肥管理措施和方法,这对于实现由“丰水高产”向“节水增效”型灌溉转变,促进水、肥高效发挥着重要作用<sup>[60]</sup>。如聂晓等<sup>[61]</sup>研究表明,非充分灌溉节水的同时可提高产量,显著提高作物的水分利用效率,间歇灌、湿润灌比淹灌的水分利用效率分别提高了35.7%、50.0%。Hao等<sup>[62]</sup>对陕北山地苹果萌芽展叶期和果实膨大期进行调亏灌溉后发现,适当的减少水分供给可稳定苹果产量,提高苹果品质。梁继华等<sup>[63]</sup>指出,根区交替灌溉在降低总干物质总量6.3%的同时,节约了29.1%的水资源,水分利用率可增加24.3%。杨明达等<sup>[64]</sup>在对比地下滴灌和地表滴灌两种水分调控的研究中发现,限水灌溉下较地下滴灌干物质质量提升了3.29%。李文甲等<sup>[65]</sup>在研究中发现,分根区交替灌溉节水33.3%,可达到以不牺牲作物光合产物积累和产量而大幅度提高水肥利用效率的目的。李建民等<sup>[66]</sup>指出,作物限水灌溉施氮144~213 kg/hm<sup>2</sup>可保持氮素表观平衡。上述灌溉方式以作物水分利用过程调控和局部根区的干旱信号控制为核心,往往需要较小的灌水定额和特殊的局部根区灌溉方式,而目前广泛采用的节水节肥技术难以满足这种要求<sup>[38]</sup>。因此,寻求因地制宜的灌溉施肥模式和方法是西北干旱地区农业发展迫切需要解决的课题。

### 1.2.3 穴贮肥水技术及穴贮砖的研究进展

“地膜覆盖穴贮肥水技术”是20世纪80年代探索出的一种果树施肥新技术<sup>[67]</sup>。该技术始于在果树植株根系附近挖直径30~40 cm的坑穴，穴中放草把或作物秸秆，再用混有少量三元素复合肥的土壤进行填埋，因此树冠下的土层逐渐积累了许多缓慢释放的矿物质元素，并形成了一些小型的肥水库用于集水或灌溉<sup>[68]</sup>。对于无水浇、瘠薄干旱果园，穴贮肥水技术能够减少土壤中的水分蒸发和流失，逐渐地释放养分，使果树肥水供给稳定<sup>[69]</sup>。研究表明采用穴贮肥方法可使有限的水肥得以充分利用，并可提高土壤有效积温，改善土壤有机质及养分含量<sup>[70]</sup>。于坤等<sup>[14]</sup>发现，穴贮肥水技术能使30-50 cm以下的土层水分含量稳定，有利于根系的发育和下扎。秦晓娟<sup>[71]</sup>研究表明，穴施肥水方式可明显提高土壤中氮、磷、钾含量，同时还可通过微生物降解释放大量CO<sub>2</sub>，降低土壤pH，提高难溶微量元素的溶解性，增加土壤中微量元素的可利用性，促进根系对养分的吸收利用。潘增光等<sup>[72]</sup>研究认为，穴贮肥水管理能有效地促进春季枝条和叶片的生长，帮助果树进行物质循环。然而，“地膜覆盖穴贮肥水技术”也存在一些问题。一方面，此项技术要求灌溉水分少量多次，一次灌太多会使水渗入土壤深处；另一方面，覆盖肥料穴的塑料薄膜容易老化破碎，肥水穴也容易被踩坏，这可能会影响技术的稳定性和效果。此外，长期使用塑料薄膜可能会如白色污染等环境问题<sup>[69]</sup>。

“低压地下穴贮滴灌系统”技术的出现克服了地膜覆盖穴贮肥水技术的一些缺点。这种系统通过地下穴贮结构不仅减少了地面径流和蒸发，而且还降低了灌溉水向土壤深层渗漏，并且将根系“圈养”在肥水穴周围，促进了水肥的高效利用<sup>[14]</sup>。地下低压穴贮滴灌是利用地下滴灌技术，向靠近植物根部的穴贮桶内输送水肥，为根系提供稳定的水肥供应。然而，这样的滴灌系统当进行维修和替换时，要求穴贮桶从土壤中掘出洞穴，这在生产应用中可能存在一些困难，限制了其推广和应用<sup>[73]</sup>。与此同时，闫玉静等<sup>[74]</sup>研究表明，“埋砖蓄水”调控技术是一种有效的土壤水分管理方法，通过埋放砖块在植物根系范围内，可以显著提高土壤的含水量11%~22%，这种技术有助于植物能够更充分地吸收水分和养分，从而增强了苹果树地上部叶片的生理机能。费丽彬等<sup>[75]</sup>在研究发现，埋砖叠加保水剂的组合应用可以进一步提升土壤中氮、磷和钾等养分的含量，减缓了深层土壤含水量的下降趋势，有效增加了苹果单果重和单株产量。因此，本研究旨在应对新疆沙地果树生产中肥料利用不科学及水肥易渗漏的问题，采用了一种新的地下穴贮滴灌方法，将有机肥和一些具有保水保肥性的土壤改良剂制作成穴贮砖替代“低压地下穴贮滴灌系统”中的穴贮桶，通过施加穴贮砖耦合滴施水肥的方式进一步优化穴贮滴灌技术在果树生产上的应用。