

DOI: 10.13758/j.cnki.tr.2023.02.026

张吉立, 冀金凤, 王宁, 等. 补灌与施肥对甜菜干物质积累、产糖量及养分吸收的影响. 土壤, 2023, 55(2): 441–445.

## 补灌与施肥对甜菜干物质积累、产糖量及养分吸收的影响<sup>①</sup>

张吉立<sup>1,2</sup>, 冀金凤<sup>1</sup>, 王宁<sup>1</sup>, 王鹏<sup>1\*</sup>

(1 黑龙江八一农垦大学, 黑龙江大庆 163319; 2 大庆职业学院, 黑龙江大庆 163255)

**摘要:** 通过研究甜菜在雨养条件下施肥和施肥后补灌对甜菜干物质积累、产量、产糖量和养分吸收的影响规律, 可以为甜菜栽培中施肥和灌溉提供理论依据。试验在田间条件下, 设置雨养无肥(对照)、雨养施肥、补灌施肥 3 个处理, 大区试验设计, 3 次重复。结果表明: 收获期补灌与雨养施肥处理相比显著提高了甜菜总干物质积累量和产糖量; 补灌施肥、雨养施肥与无肥处理相比显著提高了地上部和总干物质积累量、产量、产糖率和产糖量; 收获期补灌与雨养施肥处理相比显著降低了甜菜地下部、地上部氮吸收量和总氮、总钾吸收量, 雨养施肥与无肥处理相比显著提高了总氮、总钾吸收量; 收获期补灌与雨养施肥处理相比显著提高了甜菜地下部、地上部干物质积累量和总磷吸收量, 雨养施肥与不施肥处理相比显著提高了地上部干物质积累量和总磷吸收量。综合分析认为, 补灌与雨养施肥处理相比利于促进甜菜生长发育, 提高产量、产糖量和磷吸收量, 降低甜菜对氮、钾的吸收量, 建议在 5—6 月发生季节性干旱时进行人工补灌。

**关键词:** 补灌; 甜菜; 产糖量; 养分吸收

**中图分类号:** S566.3 **文献标志码:** A

### Effects of Supplemental Irrigation and Fertilization on Dry Matter Accumulation, Sugar Production and Nutrient Uptake in *Beta Vulgaris* L.

ZHANG Jili<sup>1,2</sup>, JI Jinfeng<sup>1</sup>, WANG Ning<sup>1</sup>, WANG Peng<sup>1\*</sup>

(1 Heilongjiang Bayi Agricultural University, Daqing, Heilongjiang 163319, China; 2 Daqing Vocational College, Daqing, Heilongjiang 163255, China)

**Abstract:** The effects of fertilization under rain-fed condition and supplemental irrigation after fertilization on dry matter accumulation, yield, sugar production and nutrient absorption of *Beta vulgaris* L. were studied in order to provide a theoretical basis for fertilization and irrigation in *Beta vulgaris* L. cultivation. A field-plot experiment was carried out and three treatments were setup, including rainfed without fertilization (CK), rainfed and fertilization (TY), and supplemental irrigation and fertilization (TB), and each treatments with three repetition. The results show that, in the harvest period, TB significantly increases the total dry matter accumulation and sugar yield compared with TY; TB and TY significantly increase the aboveground and total dry matter accumulation, yield, sugar rate and yield compared with CK; TB significantly increases the underground, aboveground nitrogen and total nitrogen and total potassium uptake of *Beta vulgaris* L. compared with TY; TY significantly increases total nitrogen and total potassium uptake compared with CK; TB significantly increases the underground, aboveground dry matter accumulation and total phosphorus uptake compared with TY; TY significantly increases the aboveground dry matter accumulation and total phosphorus uptake compared with CK. Comprehensive analysis shows that TB is beneficial to promote the growth, development, yield, sugar production, phosphorus absorption, and to reduce nitrogen and potassium absorption of *Beta vulgaris* L. compared with TY, thus, it is recommended to carry out appropriate artificial supplementary irrigation in May—June when drought occurs.

**Key words:** Supplementary irrigation; *Beta vulgaris* L.; Sugar production; Nutrient absorption

①基金项目: 国家甜菜现代农业产业技术体系土壤肥料岗位建设项目(CARS-210306)资助。

\* 通讯作者(wangp.ycs@163.com)

作者简介: 张吉立(1981—), 男, 河北衡水人, 副教授, 博士研究生, 主要研究方向为植物营养学与作物分子生理。E-mail: zhangjili12@163.com

黑龙江省西部属于半干旱地区, 每年 5—6 月降水稀少引起的季节性干旱会显著影响甜菜苗期的正常生长发育。由于当地甜菜基肥施用与播种同时进行, 化肥距离根系较近, 这也进一步增加了干旱条件下的水分胁迫程度。为解决这一问题, 采用人工补灌的方式为甜菜提供水分, 促进植株生长, 对降低季节性干旱胁迫危害, 保持高产稳产具有重要的实践意义。甜菜是黑龙江省重要的经济作物<sup>[1]</sup>, 生长季节对土壤水分状况极为敏感, 降水过多除了导致养分淋失引起减产外, 还会使甜菜根系含糖率降低, 产糖量下降; 降水不足发生于干旱胁迫后, 甜菜生长受到抑制, 产量降低明显<sup>[2]</sup>; 因此平稳适宜的水分供应是甜菜获得高产优质的基础<sup>[3]</sup>。生产实践中发现, 人工灌溉灌水过多会造成肥料流失, 增加成本; 灌溉不足抑制植物生长, 降低产量和经济效益。番茄<sup>[4]</sup>、玉米<sup>[5]</sup>、食葵<sup>[6]</sup>、小麦<sup>[7]</sup>等作物人工补灌研究结果表明, 在作物需水关键时期稳定适宜的灌溉对促进作物生长和提高产量效果最显著。目前黑龙江省自然降水与甜菜生长需水规律存在差异, 5—6 月的季节性干旱正是苗期需水的关键时期, 此时进行人工补灌可以有效弥补自然降水的不足。从前人相关研究来看, 目前尚未见到在季节性干旱发生时进行人工补灌对甜菜生长发育和养分吸收影响的相关报道。本文研究了在当地常规施用基肥与播种同时进行条件下, 雨养施肥与不施肥、补灌施肥条件下甜菜干物质积累、产量、产糖量和养分吸收变化规律, 以期为黑龙江省甜菜生产中科学合理地进行水分和养分管理提供理论依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验材料

试验于 2019 年 4—10 月在黑龙江八一农垦大学试验基地(46°37'N、125°11'E)进行。土壤类型为黑钙土, 前茬为绿豆, 试验地年平均气温 4~5 °C, 2019 年试验地总降水量为 543.50 mm, 5—6 月末无有效降水。土壤基础肥力为: 有机质 28.6 g/kg, 碱解氮 49.67 mg/kg, 有效磷 30.55 mg/kg, 速效钾 179.00 mg/kg, pH 8.67。试验所选用甜菜品种为 H809。

### 1.2 试验设计

试验共设 3 个处理, CK 为雨养不施肥处理(空白对照), 不施任何肥料; TY 为当地常规施肥+雨养处理, 播种时不补充水分, 种子直接播入土中; TB 为常规施肥+补灌处理, 播种坐水 5 mm/株、6 月 12 日 5 mm/株、6 月 23 日 5 mm/株。TY 与 TB 处理施 N 120 kg/hm<sup>2</sup>、P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 104 kg/hm<sup>2</sup>、K<sub>2</sub>O 120 kg/hm<sup>2</sup>。试验所

施用氮肥为尿素, 含 N 量 46%; 磷肥为重过磷酸钙, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 含量为 46%; 钾肥为硫酸钾, K<sub>2</sub>O 含量为 50%。试验前按株称肥, 播种前施入播种穴底部作为基肥。试验田面积 0.066 7 hm<sup>2</sup>, 甜菜栽培密度为株距 0.2 m, 行距 0.65 m, 76 950 株/hm<sup>2</sup>, 栽培方式采用垄作式直播。试验田于 4 月 20 日翻耕起垄, 5 月 6 日挖种植穴并施基肥, 5 月 8 日播种。

### 1.3 采样及测定项目

分别于叶丛快速增长期(7 月 9 日)、块根糖分增长期(8 月 5 日)、块根糖分积累期(9 月 7 日)、收获期(9 月 28 日)田间取样, 带回实验室洗净后, 105 °C 杀青 30 min, 在 75~80 °C 下烘干后分叶和根分别称重, 计算干物质积累量。收获期, 随机选取 3 处 10 垄×20 m 范围内甜菜全部收获, 现场测算产量, 并利用测糖仪直接测定甜菜的含糖率, 计算产糖量。烘干后植株样品用浓硫酸-过氧化氢消煮后, 利用凯氏定氮法、钒钼黄比色法、火焰光度法<sup>[8]</sup>分别测定植株氮、磷、钾的含量。

### 1.4 数据处理

数据处理和表格制作采用 Excel 2021 版软件, 差异显著性分析使用 DPS7.65 版软件。

## 2 结果与分析

### 2.1 补灌与施肥对甜菜干物质积累的影响

由表 1 可知, TY 与 CK 相比提高了甜菜地下部干物质积累量, 其中块根糖分增长期和块根糖分积累期 TY 处理显著高于 CK, 收获期无显著差异, 表明雨养条件下施肥有利于甜菜生育中期显著提高地下部干物质积累量。TY 地上部和总干物质积累量除块根糖分增长期外均显著高于 CK, 表明雨养条件下施肥有利于促进甜菜地上部和总干物质积累量增加。TB 与 TY 相比提高了甜菜地下部干物质积累量, 且 TB 显著高于 CK, 这说明 TB 与 TY、CK 相比有利于提高甜菜地下部干物质积累量。块根糖分增长期至块根糖分积累期, TB 地上部干物质积累量显著高于 TY, 但收获期两个处理差异不显著。块根糖分增长期至收获期, TB 总干物质积累量显著高于 TY, 这说明发生季节性干旱时补灌更有利于甜菜生长发育。

### 2.2 补灌与施肥对甜菜产量及产糖量的影响

由表 2 可知, TY 与 CK 相比显著提高了甜菜产量, TB 与 TY 相比提高了 2.82%, 表明发生短暂时节性干旱后补灌有利于甜菜产量提高。从含糖率上来看, TB 和 TY 之间无显著差异, 两个处理显著高于 CK, 表明 TB 与 TY 相比不会对甜菜的含糖率产生显

表 1 不同处理对甜菜干物质积累的影响(g/株)

部位	处理	叶丛快速增长期	块根糖分增长期	块根糖分积累期	收获期
地下部	CK	5.42 ± 0.20 b	42.32 ± 5.12 b	62.33 ± 2.00 b	90.72 ± 6.06 b
	TY	6.65 ± 0.56 ab	55.77 ± 4.00 a	83.57 ± 5.06 a	115.59 ± 9.91 ab
	TB	7.18 ± 0.60 a	60.94 ± 5.01 a	92.38 ± 7.13 a	128.38 ± 14.17 a
地上部	CK	13.13 ± 1.53 b	48.09 ± 4.01 b	58.58 ± 3.03 c	75.51 ± 3.31 b
	TY	22.30 ± 2.27 a	40.61 ± 2.98 b	77.07 ± 2.93 b	96.66 ± 4.96 a
	TB	16.61 ± 2.06 b	89.54 ± 5.12 a	98.60 ± 4.16 a	103.52 ± 8.26 a
总干物质积累	CK	18.55 ± 1.72 b	90.41 ± 9.12 b	120.91 ± 5.01 c	166.23 ± 9.37 c
	TY	28.95 ± 2.82 a	96.38 ± 1.02 b	160.64 ± 6.41 b	212.24 ± 14.86 b
	TB	23.79 ± 2.66 ab	150.48 ± 0.38 a	190.98 ± 11.28 a	231.89 ± 22.43 a

注: 表内数值为平均值±标准差; 同列小写字母不同表示处理间差异显著( $P < 0.05$ ), 下同。

表 2 不同处理对甜菜产量及产糖量的影响

处理	产量(kg/hm <sup>2</sup> )	含糖率(%)	产糖量(kg/hm <sup>2</sup> )
CK	35 103 ± 1 469 b	8.70 ± 0.10 b	3 066.24 ± 146.56 c
TY	43 553 ± 3 000 a	11.03 ± 1.00 a	4 650.36 ± 166.70 b
TB	44 783 ± 3 002 a	11.07 ± 1.01 a	5 098.18 ± 171.86 a

著影响, 但 TB 和 TY 与对照相比均显著提高了含糖率。TY 产糖量与 CK 相比提高了 51.66%, 差异显著, 表明同是在雨养条件下施肥与不施肥相比更有利于产糖量显著提高; TB 产糖量比 TY 提高了 9.63%, 差异显著, 表明同样施肥条件下进行补灌会显著提高甜菜产糖量。

### 2.3 补灌与施肥对甜菜氮吸收的影响

由表 3 可知, TY 与 CK 相比在整个试验期间均显著提高了甜菜地下部氮吸收量, 地上部和总氮吸收量除块根糖分增长期外 TY 均显著高于 CK, 表明在雨养下施肥会显著促进甜菜对氮营养的吸收和利用。TB 与 TY 相比降低了地下部氮吸收量, 除叶丛快速增长期外 TB 均显著低于 TY, 表明补灌不利于甜菜地下部对氮的吸收和利用。TB 与 TY 相比仅在块根糖分增长期显著提高了地上部氮吸收量, TB 在叶丛快速增长期和收获期均显著低于 TY, 但 TB 显著高

于 CK, 表明补灌在收获期与对照相比会显著提高地上部氮吸收量。在块根糖分增长期, TB 总氮吸收量显著高于 TY, 但收获期 TB 显著低于 TY, 这可能与补灌导致根系氮吸收量显著降低有关。

### 2.4 补灌与施肥对甜菜磷吸收的影响

由表 4 可知, TY 与 CK 相比提高了甜菜根系磷吸收量, 除块根糖分增长期外 TY 显著高于 CK, 表明雨养下施肥有利于促进甜菜地下部磷吸收。TY 与 CK 相比仅叶丛快速增长期显著提高了甜菜地上部磷吸收量, 其余生育时期 TY 与 CK 之间无显著差异。叶丛快速增长期、块根糖分积累期和收获期, TY 总磷吸收量显著高于 CK, 表明雨养下施肥会显著提高甜菜总磷吸收量。块根糖分增长期, TB 地下部磷吸收量显著低于 TY, 其余生育时期 TB 与 TY 之间无显著差异。叶丛快速增长期、块根糖分积累期和收获期 TB 显著高于 CK, 表明补灌+施肥与对照相比在这 3 个生育时期会显著提高地下部磷吸收量。块根糖分增长期和块根糖分积累期, TB 地上部磷吸收量显著高于 TY, 但成熟期两个处理之间无显著差异。块根糖分增长期至收获期, TB 总磷吸收量显著高于 CK 和 TY, 表明补灌与雨养施肥和不施肥处理相比均会显著提高甜菜总磷吸收量。

表 3 不同处理对甜菜氮吸收的影响(kg/hm<sup>2</sup>)

部位	处理	叶丛快速增长期	块根糖分增长期	块根糖分积累期	收获期
地下部	CK	4.12 ± 0.37 b	49.71 ± 3.27 b	61.41 ± 3.90 b	92.33 ± 2.40 b
	TY	5.70 ± 0.60 a	74.55 ± 4.01 a	118.26 ± 10.04 a	166.61 ± 20.09 a
	TB	5.49 ± 0.43 a	32.40 ± 2.83 c	72.32 ± 2.14 b	109.70 ± 9.09 b
地上部	CK	29.92 ± 2.44 c	98.64 ± 5.30 b	127.80 ± 10.14 b	199.49 ± 10.09 c
	TY	56.70 ± 3.17 a	102.58 ± 5.22 b	213.68 ± 10.19 a	308.62 ± 8.17 a
	TB	44.50 ± 2.26 b	236.50 ± 30.21 a	237.47 ± 15.15 a	275.61 ± 15.21 b
总氮吸收	CK	34.04 ± 2.80 c	148.36 ± 8.57 c	189.21 ± 14.03 b	291.82 ± 14.29 c
	TY	62.40 ± 3.77 a	177.13 ± 9.22 b	331.94 ± 20.22 a	475.23 ± 28.26 a
	TB	49.99 ± 2.69 b	268.90 ± 33.03 a	309.79 ± 17.29 a	385.32 ± 24.29 b

表 4 不同处理对甜菜磷吸收的影响(kg/hm<sup>2</sup>)

部位	处理	叶丛快速增长期	块根糖分增长期	块根糖分积累期	收获期
地下部	CK	0.29 ± 0.04 b	4.87 ± 0.80 a	4.91 ± 0.71 b	6.52 ± 0.50 b
	TY	0.57 ± 0.07 a	5.27 ± 0.20 a	8.66 ± 0.60 a	8.38 ± 0.81 a
	TB	0.47 ± 0.07 a	3.37 ± 0.33 b	7.81 ± 0.80 a	9.30 ± 0.62 a
地上部	CK	1.06 ± 0.11 b	4.24 ± 0.20 b	6.77 ± 0.30 b	8.89 ± 0.80 b
	TY	2.63 ± 0.60 a	4.32 ± 0.30 b	5.87 ± 0.80 b	9.83 ± 0.81 ab
	TB	1.41 ± 0.20 b	9.55 ± 0.75 a	10.63 ± 1.00 a	10.79 ± 1.02 a
总磷吸收	CK	1.35 ± 0.15 b	9.11 ± 1.00 b	11.68 ± 1.41 c	15.41 ± 1.30 c
	TY	3.20 ± 0.67 a	9.59 ± 0.50 b	14.53 ± 1.40 b	18.21 ± 1.59 b
	TB	1.88 ± 0.27 b	12.91 ± 1.08 a	18.45 ± 1.80 a	20.09 ± 1.63 a

## 2.5 补灌与施肥对甜菜钾吸收的影响

由图 5 可知, 块根糖分增长期和块根糖分积累期, TY 地下部钾吸收量显著高于 CK, 但收获期两个处理之间无显著差异。TY 与 CK 相比提高了地上部钾吸收量, 除块根糖分增长期外两个处理之间存在显著差异。叶丛快速增长期、块根糖分积累期和收获期, TY 总钾吸收量均显著高于 CK, 表明雨养下施肥有利于这 3 个时期甜菜对钾的吸收和利用。块根糖分增长期, TB 地下部钾吸收量显著高于 TY, 块根

糖分积累期和收获期 TB 与 TY 之间无显著差异; 成熟期 TB 显著低于 CK, 表明补灌不利于甜菜地下部对钾的吸收。TB 与 TY 相比除块根糖分增长期外均降低了甜菜地上部钾吸收量, 表明补灌不利于甜菜地上部对钾的吸收和利用。块根糖分积累期和收获期, TB 总钾吸收量显著低于 TY, 表明补灌与雨养相比会显著降低甜菜这两个生育时期对钾的吸收和利用。块根糖分增长期和块根糖分积累期, TB 显著高于 CK, 叶丛快速增长期和成熟期两个处理之间无显著差异。

表 5 不同处理对甜菜钾吸收的影响(kg/hm<sup>2</sup>)

部位	处理	叶丛快速增长期	块根糖分增长期	块根糖分积累期	收获期
地下部	CK	0.15 ± 0.03 a	1.50 ± 0.10 c	3.11 ± 0.30 b	7.44 ± 0.40 a
	TY	0.20 ± 0.04 a	3.10 ± 0.30 b	5.43 ± 0.40 a	6.36 ± 0.61 ab
	TB	0.22 ± 0.03 a	4.17 ± 0.10 a	4.56 ± 0.50 a	5.65 ± 0.51 b
地上部	CK	3.17 ± 0.40 b	6.03 ± 0.50 b	11.14 ± 1.00 b	20.29 ± 2.01 b
	TY	5.56 ± 0.51 a	6.24 ± 0.60 b	20.20 ± 2.00 a	28.07 ± 2.11 a
	TB	2.91 ± 0.50 b	7.96 ± 0.70 a	13.26 ± 2.21 b	23.82 ± 2.41 ab
总钾吸收	CK	3.31 ± 0.43 b	7.52 ± 0.60 b	14.25 ± 1.30 c	27.72 ± 2.41 b
	TY	5.76 ± 0.55 a	9.34 ± 0.90 b	25.62 ± 2.40 a	34.43 ± 2.70 a
	TB	3.13 ± 0.53 b	12.13 ± 1.11 a	17.82 ± 2.71 b	29.48 ± 2.91 b

## 3 讨论

水、肥是甜菜生长必不可少的因素, 充足的养分供应和适宜的灌溉时间及灌水量是提高甜菜产量和产糖量的保障<sup>[9]</sup>。生长季节降水不足导致的季节性干旱会对甜菜某一生长阶段产生显著影响, 此时人工补灌是缓解干旱胁迫, 促进甜菜生长和提高产量的有效栽培措施<sup>[10]</sup>。从前人相关研究来看, 甜菜施肥后采用人工补灌方式提高灌水量有利于产量的提高<sup>[11]</sup>。本试验结果表明, 雨养条件下施肥显著提高了甜菜干物质积累量, 在常规施肥基础上补灌后提高了根系、叶片和总干物质积累量, 成熟期补灌处理总干物质积累量显著高于雨养施肥处理, 这说明补灌对提高甜菜干

物质积累量具有显著作用。张荣萍等<sup>[12]</sup>研究认为这与补灌较好地改善了作物关键生长时期的水分状况有关。土壤水分不足造成的干旱胁迫会显著抑制甜菜光合作用的进行, 从而导致生长减缓, 最终降低产量<sup>[13]</sup>。人工补灌可以有效改善甜菜苗期干旱胁迫的危害, 显著提高植物光合能力, 有利于产生更多的光合产物, 增加干物质积累量, 为产量提高奠定基础<sup>[14]</sup>。本试验中补灌与雨养相比产量并未显著提高, 出现这种现象的原因与甜菜收获器官为根系有关。充分的水分供应会导致植物根系内海藻糖、2'-脱氧腺苷的积累, 从而显著抑制根系生长<sup>[15]</sup>, 这也是根系干物质积累量未显著升高的重要原因, 但是补灌促进了甜菜叶片生长, 使总干物质积累量显著高于雨养处理。

产糖量是甜菜的一个重要的质量指标, 本试验中, 雨养施肥处理与不施肥处理相比显著提高了甜菜产糖量, 这说明施肥对提高产糖量具有显著作用<sup>[16]</sup>。在当地常规施肥基础上人工补灌后, 产糖量提高了9.63%, 差异达到了显著水平, 这与董心久等<sup>[17]</sup>的研究结果相似, 说明在甜菜苗期需水关键时期人工补灌会使甜菜产糖量在施肥基础上进一步提升。从甜菜氮吸收量上来看, 补灌与雨养相比显著降低了甜菜地上部、地下部和总氮吸收量, 这可能与大量氮转化为糖有关<sup>[18]</sup>, 也可能与氮随水进入土壤深层导致甜菜吸收量降低有关<sup>[19]</sup>。收获期, 常规施肥与空白对照相比显著提高了甜菜地下部和总磷吸收量, 而补灌处理在此基础上继续显著提高了甜菜总磷吸收量, 这可能是因为补灌改善了土壤水分状况, 有利于甜菜对磷元素的吸收和利用<sup>[20]</sup>。另外, 补灌与雨养相比磷吸收量显著提高, 这与氮营养吸收变化规律存在差异, 可能与甜菜吸收磷元素主要用于生长发育和较少用于合成糖有关。由于甜菜吸收钾主要以离子形态吸收, 因此土壤水分变化对钾吸收的影响较大<sup>[21]</sup>。本试验中, 雨养施肥处理与无肥相比显著提高了甜菜总钾吸收量<sup>[22]</sup>, 但是补灌后的地上部和地下部钾吸收量低于雨养施肥处理, 总钾吸收量显著低于雨养施肥处理, 这是否与补灌导致了土壤中的钾营养流失有关还有待于进一步研究。

#### 4 结论

1) 收获期, 雨养施肥与不施肥相比显著提高了甜菜地上部和总干物质积累量; 补灌施肥与雨养施肥处理相比显著提高了总干物质积累量, 但地上部和地下部干物质积累量没有显著差异。

2) 雨养施肥与不施肥相比显著提高了甜菜产量、含糖率、产糖量, 补灌施肥与雨养施肥相比显著提高产糖量。

3) 收获期, 雨养施肥与不施肥相比显著提高了甜菜总氮、总磷、总钾吸收量; 补灌施肥与雨养施肥处理相比显著降低了甜菜地下部、地上部氮和总氮吸收量, 显著提高了总磷吸收量, 显著降低总钾吸收量。

4) 补灌可显著促进甜菜生长并提高产糖量, 不利于氮和钾营养的吸收利用, 但促进磷营养的吸收和利用。

#### 参考文献:

[1] 莒琳. 中国甜菜生产比较优势研究——以内蒙古赤峰市为例[D]. 北京: 中国农业科学院, 2012.

- [2] Geng G, Yang J. Sugar beet production and industry in China[J]. *Sugar Tech*, 2015, 17(1): 13–21.
- [3] 樊福义. 土默川井灌区甜菜需水规律及节水灌溉研究[D]. 北京: 中国农业科学院, 2006.
- [4] 邢英英, 张富仓, 张燕, 等. 滴灌施肥水肥耦合对温室番茄产量、品质和水分利用的影响[J]. *中国农业科学*, 2015, 48(4): 713–726.
- [5] 任作利. 控光与灌水对滴灌玉米生长与耗水的影响研究[D]. 石河子: 石河子大学, 2020.
- [6] 赵经华, 徐剑, 马亮, 等. 灌水定额对食葵耗水特征和产量的影响[J]. *干旱地区农业研究*, 2019, 37(6): 108–116.
- [7] 马金平, 王卫锋, 朱宝才, 等. 灌水定额对覆膜滴灌玉米根系分布和籽粒产量的影响[J]. *中国水土保持科学*, 2018, 16(6): 64–70.
- [8] 鲍士旦. 土壤农化分析[M]. 3版. 北京: 中国农业出版社, 2000.
- [9] Vamerli T, Guarise M, Ganis A, et al. Effects of water and nitrogen management on fibrous root distribution and turnover in sugar beet[J]. *European Journal of Agronomy*, 2009, 31(2): 69–76.
- [10] 冯洋洋. 调亏灌溉对滴灌甜菜生理性能和产量的影响[D]. 呼和浩特: 内蒙古农业大学, 2017.
- [11] 李智. 膜下滴灌甜菜水氮耦合的生理效应[D]. 呼和浩特: 内蒙古农业大学, 2018.
- [12] 张荣萍, 马均, 王贺正, 等. 不同灌水方式对水稻结实期一些生理性状和产量的影响[J]. *作物学报*, 2008, 34(3): 486–495.
- [13] 韩凯虹. 水分胁迫及复水对甜菜生长发育及光合特性的影响[D]. 保定: 河北农业大学, 2015.
- [14] Zhang J L, Wang P, Ji J F, et al. Transcriptome analysis reveals the molecular mechanism of yield increases in maize under stable soil water supply[J]. *PLoS One*, 2021, 16(9): e0257756.
- [15] Zhang J L, Wang P, Long H Y, et al. Metabolomics analysis reveals the physiological mechanism underlying growth restriction in maize roots under continuous negative pressure and stable water supply[J]. *Agricultural Water Management*, 2022, 263: 107452.
- [16] 郭荣发, 陈爱珠. 砖红壤施用中量、微量元素对甘蔗产量与糖分的效应[J]. *土壤*, 2004, 36(3): 323–326, 330.
- [17] 董心久, 杨洪泽, 高卫时, 等. 灌水量对滴灌甜菜生长发育及产质量的影响[J]. *中国糖料*, 2013, 35(4): 37–38, 41.
- [18] 黄春燕, 苏文斌, 樊福义, 等. 甜菜氮、磷、钾肥配合施用效应及推荐用量[J]. *中国糖料*, 2011, 33(2): 16–18.
- [19] 魏静, 郭树芳, 翟丽梅, 等. 有机无机肥配施对水稻氮素利用率与氮流失风险的影响[J]. *土壤*, 2018, 50(5): 874–880.
- [20] 何园球, 李成亮, 王兴祥, 等. 土壤水分含量和施磷量对旱作水稻磷素吸收的影响[J]. *土壤学报*, 2005, 42(4): 628–634.
- [21] 彭千涛, 范钦楨. 水分和温度对土壤钾素释放、固定影响的初步研究[J]. *土壤学报*, 1984, 21(4): 387–394.
- [22] 张吉立. 不同氮磷肥施用量对城市景观草坪生长与养分吸收的影响[J]. *中国土壤与肥料*, 2014(6): 63–66.