

# 高海拔地区日光温室内环境温度变化规律分析

孙小丽<sup>1,2</sup>, 吴乐天<sup>1,2</sup>, 马艳<sup>1</sup>, 王瑞<sup>1</sup>, 宋兵伟<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>新疆农业科学院农业机械化研究所, 新疆 乌鲁木齐

<sup>2</sup>新疆设施农业智能化管控技术重点实验室, 新疆 乌鲁木齐

收稿日期: 2023年2月22日; 录用日期: 2023年3月23日; 发布日期: 2023年3月31日

## 摘要

为研究高海拔地区极端天气情况下温室内热环境的影响及变化规律, 以乌恰县戈壁石砌后墙番茄种植日光温室为例, 在温室内布置相应的温度传感器进行数据采集, 获取晴好天气下日光温室内温度环境分布情况。结果表明: 全天20℃以上温度时长约8小时, 30℃以上温度时间段为13:30~17:30, 温度高于30℃时间为4小时左右, 此段时间内温度超出番茄适宜生长温度, 不利于番茄的快速生长和果实发育成熟, 此时应加强温室通风, 及时降低温度。23:00~10:30期间, 温度基本降至15℃及以下, 不利于番茄正常生长, 应提前做好温室保温措施, 减少温室内热量散失。

## 关键词

日光温室, 温度, 传感器分布, 温度曲线

# Analysis of Environmental Temperature Variation in Solar Greenhouse in High Altitude Area

Xiaoli Sun<sup>1,2</sup>, Letian Wu<sup>1,2</sup>, Yan Ma<sup>1</sup>, Rui Wang<sup>1</sup>, Bingwei Song<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Institute of Agricultural Mechanization, Xinjiang Academy of Agricultural Sciences, Urumqi Xinjiang

<sup>2</sup>The Key Laboratory of Intelligent Control Technology for Facility Agriculture of Xinjiang, Urumqi Xinjiang

Received: Feb. 22<sup>nd</sup>, 2023; accepted: Mar. 23<sup>rd</sup>, 2023; published: Mar. 31<sup>st</sup>, 2023

## Abstract

In order to study the influence and change rules of the internal thermal environment in the greenhouse under extreme weather conditions in the high altitude area, taking the Gobi stone back wall tomato growing solar greenhouse in Wuqia County as an example, the corresponding temperature

sensor is arranged in the greenhouse for data acquisition, and the temperature environment distribution is obtained in the solar greenhouse in sunny day. The results indicate that the temperature above 20°C lasts up to 8 hours. The temperature above 30°C lasts for about 4 hours from 13:30 to 17:30. The temperature exceeds the suitable growth temperature of tomato during this period, which is not conducive to the rapid growth and fruit development of tomato. At this time, ventilation in the greenhouse should be strengthened and the temperature should be lowered timely. From 23:00 to 10:30, the temperature basically drops to 15°C or lower, which is not conducive to the normal growth of tomatoes. Take heat-preservation measures in advance to reduce heat loss in the greenhouse.

## Keywords

Solar Greenhouse, Temperature, Sensor Distribution, Temperature Curve

Copyright © 2023 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

## 1. 引言

“十四五”规划纲要提出，要“积极发展设施农业”。新疆地处祖国西北边陲，气候干旱，降雨较少且昼夜温差较大，一年中可实现露地农业种植的时间较短，而作为新疆菜篮子的设施农业成为新疆极其重要的农业发展方式，在未来具有十分广阔的持续发展前景[1]。日光温室作为我国独有的温室结构，以其低廉的造价成本、独特的节能效果和跨季节生产优势，在北方较寒冷地区应用非常广泛[2] [3]。日光温室在白天通过后墙墙体和地面土壤等介质吸收太阳辐射能，夜间温度下降后释放热量以维持室内作物正常生长需要[4]，因此，研究温室内的环境温度分布情况及其变化规律，对日光温室加温和通风设计、优化环境调控技术与装备等具有很强的参考意义。

通过文献分析，前人多在不同温室结构的热环境开展数学建模和 CFD 分析，而对室内处于不同位置 and 不同工况下的温度分布规律研究较少[5] [6] [7]。因此，本文开展高海拔地区日光温室 24 小时昼夜温度分布及变化规律研究，对于提高乌恰县日光温室环境调控方式和温室结构优化等具有重要意义。

## 2. 材料与方法

### 2.1. 试验温室

试验所采用的日光温室位于克州乌恰县戈壁设施产业园种植作物为番茄，乌恰县属温带干旱气候区，属于高海拔地区，年平均气温 7.3°C，极端最高气温 34.7°C，极端最低气温-29.9°C。试验温室为东西走向，长 60 米，跨度 7.4 米，承重围护结构为梯形戈壁石 + 外层石土墙，温室下内地面下挖 0.5 米，其结构如图 1 所示。

### 2.2. 测试方法及数据选择

为更好地研究室内对温度分布规律，在室内沿东西方向均匀布置了 6 组温度测点，由温室西侧(温室入口处)至东侧依次编号为 sensor1~sensor6，每组监测点在温室南北方向各布置 10 个温度测点，组温度测点分布如图 1。每组温度测试点分布在温室距地面 0.5 米处及以上，测试点上下点之间间隔 0.9 米，S1 测点靠近温室底脚，S2、S3 测点距离 S1 测点 1.4 米，S4~S6 测点距离 S2、S3 测点 1.8 米，S7~S10

测点距离 S4~S6 测点 1.8 米、距离北墙体 1.5 米。试验中采用 DS18B20 温度传感器，数据采集器为自主开发的数据采集装置，设置的最大数据采集通道为 30 个，自动进行数据采集和记录。在试验开始前期需要对传感器进行一一校准、做好各传感器序号标记、设定采集周期等，正式采集前做好稳定性测试试验，确保测试数据的准确性和数据同步，数据采集间隔时间为 30 min。根据乌恰县天气情况，选择在 2021 年 9 月 27~29 日进行测试，测试时间当地为晴好天气，温室通风时间为一般为上午 10:00~19:00。

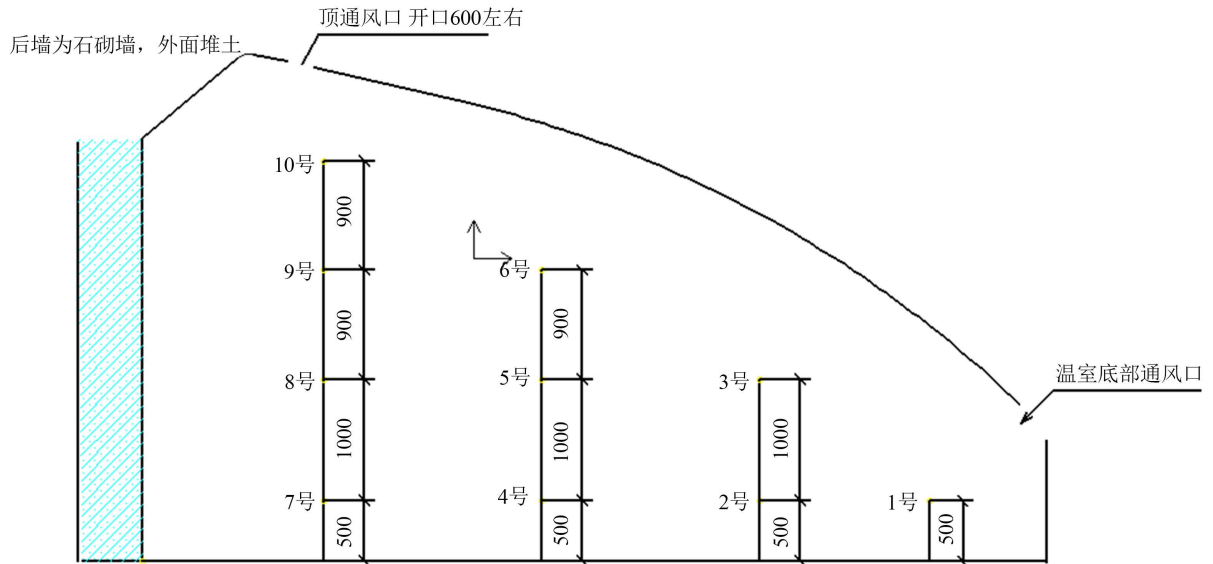
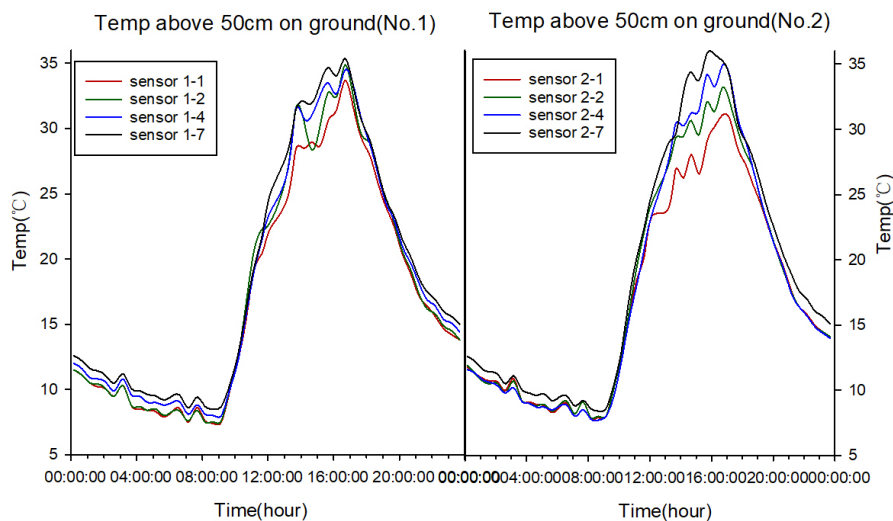


Figure 1. Greenhouse structure and diagram of sensor node distribution  
图 1. 温室结构及传感器节点分布图

### 3. 结果与分析

#### 3.1. 作物根部以上 0.5 米处温度分布及变化规律

根据测试数据，选取 24 小时内从温室西侧(靠近温室进口位置)、温室中部及东侧(靠里)依次为 1~6 组的温度数据，分析距离地面 0.5 米处同一水平线的温度数据，温度分布如图 2 所示。



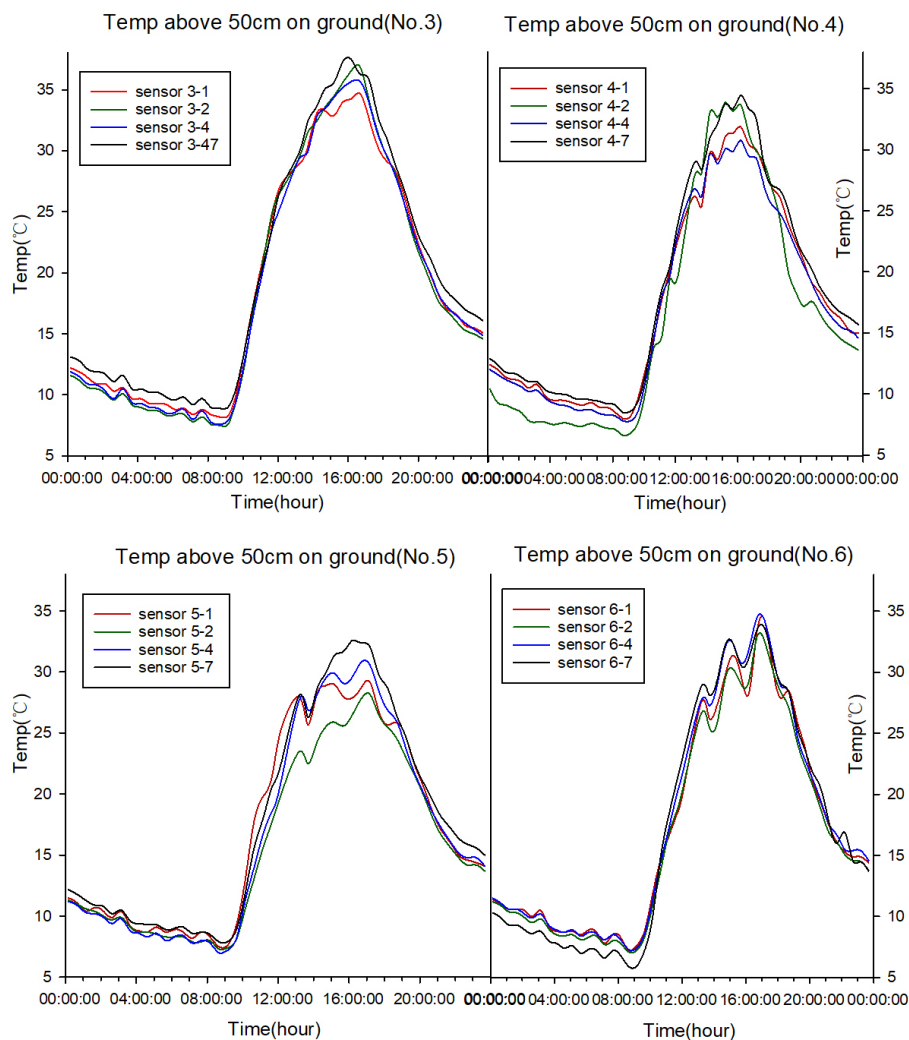


Figure 2. Temperature variation curve above 50 cm on ground

图 2. 距地面 0.5 米处温度变化曲线

从图 2 温度变化曲线可以看出, 温室内的温度变化基本与外界温度变化情况一致, 上午 9 点 30 左右太阳升起后, 随着太阳辐射的增强, 温室内气温开始迅速升高, 11 时 30 分温室内温度达到 20℃ 以上, 12 时~16 时太阳辐射强度最强, 13 时温室内温度超过 25℃, 在 13 时 30 分~17 时 30 分温度迅速升高至 30℃ 以上。6 组测试点的温度变化略有不同, 其中, 第 1、3、4、6 组数据变化曲线一致, 温差不大, 而第 2、5 组的数据变化差异较大。第 2 组温度从温室底脚处最低, 从底脚处至温室北墙体温度依次升高; 第 5 组数据温室底脚处两个测点温度较低, 而温室中部和靠近北墙体两个温度数据较高。这种温度差异在 12 时~18 时温度高点较为明显。

### 3.2. 温室顶部温度分布及变化规律

根据测试数据, 选取 24 小时内从温室西侧(靠近温室进口位置)、温室中部及东侧(靠里)依次为 1~6 组的温度数据, 分析温室顶端靠近棚膜处的温度数据, 温度分布如图 3 所示。

图 3 为温室顶部(靠近温室棚膜)的六组温度测试点全天温度变化曲线, 综合分析, 第 2、3、4、5 组测试点的全天的温度变化及各点的变化趋势较为接近, 从温室底脚(1 号传感器)至温室北墙面(10 号传感

器)顶部温度依次升高,其中第2、5组的测试温度在13时~19时温室底脚处(1号传感器)温度相对较低,其他位置温度较为接近;第1组(靠近温室入口处)的温度数据靠近北墙体处(10号传感器)全天温度最高,温室底脚处(1号传感器)温度次之,而温室中部布置的第3、6号传感器温度数据相对较低;第6组测试点13时~19时3号传感器测得温度较高,靠近温室底脚处(1号传感器)温度相对较低。

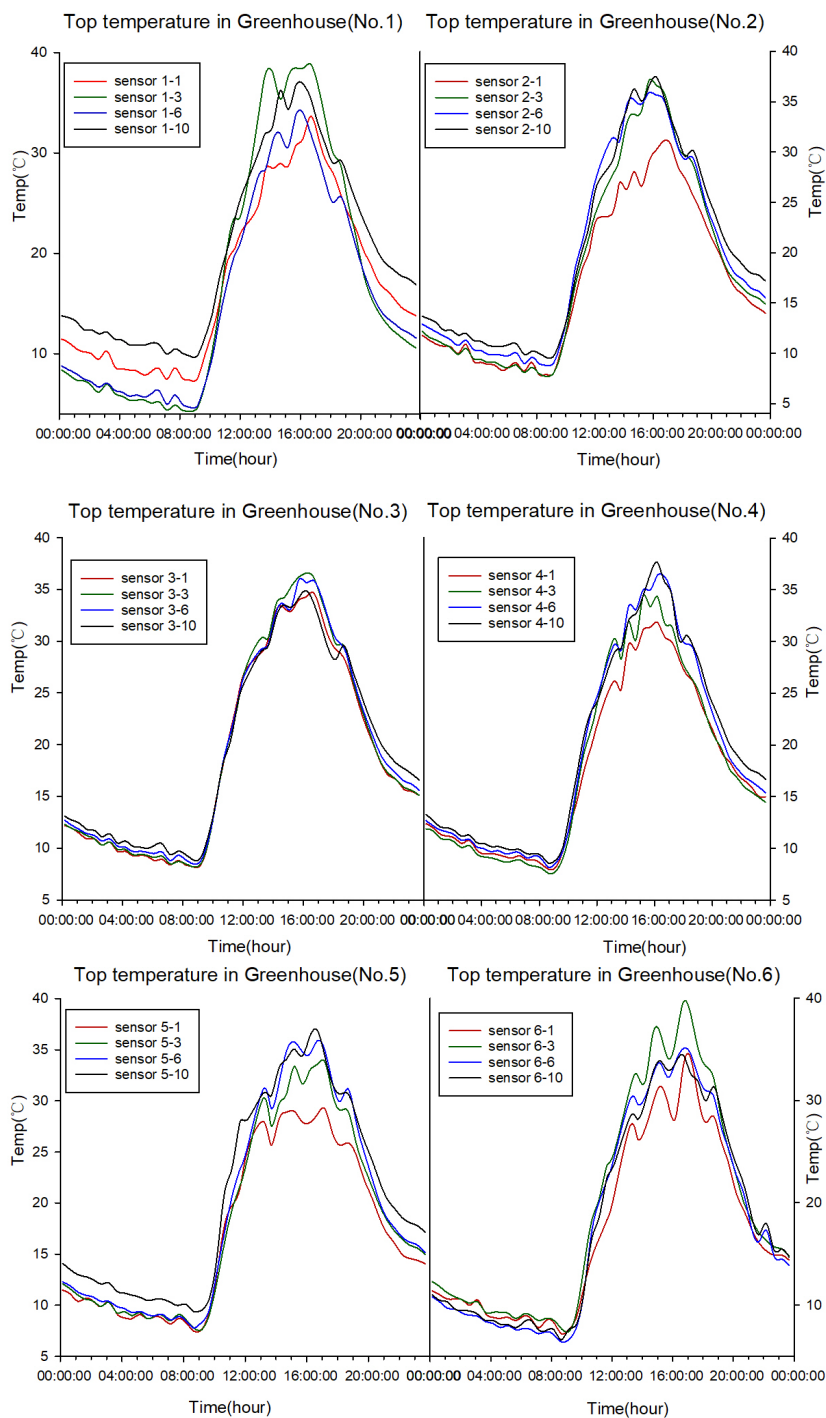


Figure 3. Temperature variation curve on top greenhouse

图3. 温室顶部温度变化曲线

### 3.3. 温室南北中心位置处温度变化

对温室南北方向和高度处于中心位置对 5 号传感器测得的数据进行分析, 温度变化曲线如图 4 所示。由温度分布变化曲线可以看出, 位于温室东侧(第 6 组传感器)的温度夜间较低, 白天温度处于平均水平, 而靠近温室入口处的第 1 组传感器测得的温度 24 小时内均处于较高的水平, 处于中部的第 4 组数据夜间温度较高, 白天温度处于相对较低的水平, 第 5 组数据夜间温度处于平均水平, 白天温度处于较低水平。

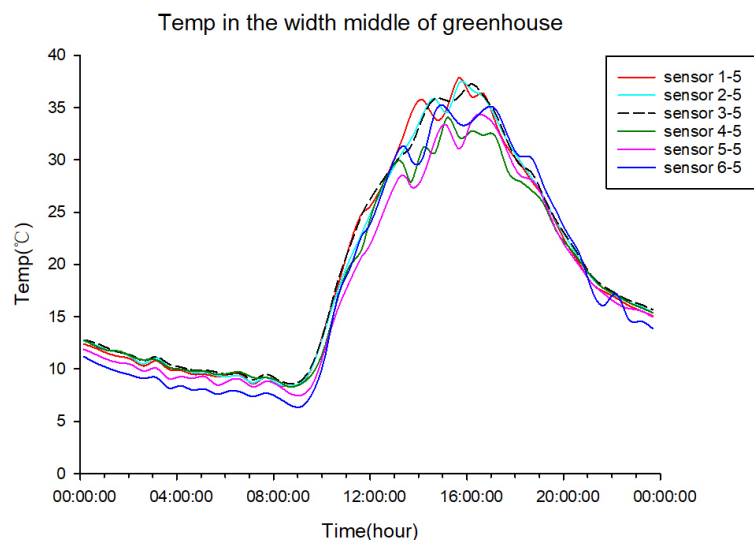


Figure 4. Temperature variation curve in the width middle of greenhouse  
图 4. 温室顶部温度变化曲线

番茄在不同生理期所需的适宜温度有所不同, 查阅文献资料, 得知番茄各生育期的三基点温度[8]如表 1 所示。

Table 1. Three basis point temperature of tomato in each growth period

表 1. 番茄各生育时期三基点温度

	发育下限温度(°C)	发育最适温度(°C)	发育上限温度(°C)
发育期	15	25~30	60
苗期	10	25~30	35
开花坐果期	15	25~30	35
结果期	15	20~30	35
采收期	15	25~30	35

## 4. 结论

通过对温室内 6 组传感器测得的数据进行温室顶部靠近棚膜处、处于同一水平线位置及南北中间同一高度和宽度位置等多处数据进行对比和曲线分析, 得到不同位置的温度变化曲线, 得出以下结论:

1) 全天 20°C 以上温度时间段为 11:30~20:00, 30°C 以上温度时间段为 13:30~17:30, 部分点位处温度上升较快, 时间范围可往前或往后扩展半小时, 全天高温时间较长, 温度高于 30°C 时间为 4 小时左右, 此段时间温度超出番茄适宜生长温度, 不利于番茄的快速生长和果实发育成熟, 此时应加强温室内通风, 及时降低温度, 以免影响番茄正常生长发育。

2) 全天 23:00~10:30 期间, 温室内温度基本降至 15℃ 及以下, 已不利于番茄正常生长, 要提前做好相应保温措施减缓温度下降速度, 另外, 果实着色对温度要求较严格, 在 19℃~24℃ 有利于茄红素的形成, 高于 30℃ 着色缓慢, 因此, 提前关闭通风设施和做好保温被覆盖等保温措施, 减少温室内热量散失等, 有利于番茄着色和快速生长。

3) 温室内部分点位出现温度频繁上下浮动的现象, 分析原因, 靠近通风口位置的传感器受外界环境影响较大, 采集数据会有短暂的波动, 为保证温室内温度分布的均匀性, 后期开展温室结构改进中要根据气流场分布和流动情况, 对温室的通风口设计及通风方式做进一步优化。

## 基金项目

自治区青年基金项目(2019D01B31)。

## 参考文献

- [1] 安巧霞, 孙三民, 陈浩, 刘映辉, 李刚, 王迎兵. 北疆地区冬季半地下式日光温室模拟设计[J]. 农机化研究, 2017(7): 66-70.
- [2] 史宇亮, 王秀峰, 魏珉, 等. 日光温室土墙体温度变化及蓄热放热特点[J]. 农业工程学报, 2016, 32(22): 214-221.
- [3] 康宏源, 塔娜, 张海鑫, 等. 典型天气情况下含内拱棚的日光温室温湿度分析与稳态模拟[J]. 江苏农业科学, 2019, 47(2): 215-220.
- [4] 宋明军, 张学斌, 赵鹏, 赵春树, 张斌祥, 张旭林, 张建金, 等. 不同规格组装式日光温室温度环境及生产性能分析[J]. 中国蔬菜, 2018(6): 64-69.
- [5] 李亮亮, 王新忠, 洪亚杰, 卢青, 陈健. 不同遮阳工况下温室作物冠层辐射场与温度场的 CFD 分析[J]. 农机化研究, 2019(11): 192-197.
- [6] 孙树鹏, 董朝阳, 黎贞发, 杨涵洧. 基于 CFD 的不同环境温度下日光温室内部温度变化研究[J]. 天津农业科学, 2020, 26(10): 43-47.
- [7] 薛晓萍, 宿文. 基于 CFD 的自然通风对日光温室湿度分布模拟分析[J]. 海洋气象学报, 2019, 39(4): 90-96.
- [8] 倪纪恒, 罗卫红, 李永秀, 等. 温室番茄干物质分配与产量的模拟分析[J]. 应用生态学报, 2006, 17(5): 811-816.