

李建荣, 韩永忠, 狄平, 等. 物联网精准灌溉对人参栽培土壤环境及其产量和品质的影响[J]. 江苏农业学报, 2022, 38(2): 495-501.
doi: 10.3969/j.issn.1000-4440.2022.02.025

物联网精准灌溉对人参栽培土壤环境及其产量和品质的影响

李建荣¹, 韩永忠², 狄平¹, 张萌¹, 韩梅¹, 杨利民¹

(1. 吉林农业大学中药材学院, 吉林 长春 130118; 2. 延边特色产业发展中心, 吉林 延吉 133001)

摘要: 以农田栽培模式种植的人参为研究对象, 采用物联网精准灌溉技术, 建立土壤相对含水量 60%、80%、90% 和自然降水 4 个试验处理, 分析不同水分条件对土壤理化性质、土壤酶活性、人参产量和品质的影响。结果表明: 土壤相对含水量为 80% 和 90% 时, 土壤有机质、速效氮、速效磷含量均高于其他处理, 同时土壤脲酶、酸性磷酸酶、过氧化氢酶、蔗糖酶活性也相对较高。土壤相对含水量为 80% 时, 人参单位面积产量最高, 可达到 2 715.64 g/m², 较 CK 增产 14.98%; 人参总皂苷含量也达到最高, 为 4.02%, 但各处理间差异不显著。适当的水分亏缺有利于人参生长后期 3 种单体皂苷的合成积累, 9 月 30 日, 人参单体皂苷 Rb₁、Re+Rg₁ 含量在 60% 土壤相对含水量处理下达到最高。综合考虑, 80% 土壤相对含水量是最适宜人参生长发育的水分条件。

关键词: 人参; 物联网; 精准灌溉; 土壤环境; 产量; 品质

中图分类号: S567.5⁺1 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-4440(2022)02-0495-07

Effects of internet of things precision irrigation on the soil environment, yield and quality of ginseng

LI Jian-rong¹, HAN Yong-zhong², DI Ping¹, ZHANG Meng¹, HAN Mei¹, YANG Li-min¹

(1. College of Chinese Medicinal Materials, Jilin Agricultural University, Changchun 130118, China; 2. Yanbian Characteristic Industry Development Center, Yanji 133001, China)

Abstract: Taking ginseng cultivated in farmland as the research object, the internet of things (IoT) precision irrigation technology was used in this study, and four experimental treatments (relative soil water content of 60%, relative soil water content of 80%, relative soil water content of 90% and natural precipitation) were established. In addition, the effects of different water conditions on soil physical and chemical properties, soil enzyme activity, ginseng yield and quality were analyzed. The results showed that the contents of soil organic matter, available nitrogen and available phosphorus in the treatments with the relative soil water content of 80% and 90% were significantly higher than those in other treatments, and the activities of soil urease, acid phosphatase, catalase and sucrase were also relatively high. Under the treatment of 80% relative soil water content, the yield per unit area of ginseng was highest (2 715.64 g/m²), which was 14.98% higher than that of CK. Moreover, the total saponins content of ginseng was also highest (4.02%), but there was no significant

difference among treatments. On September 30, the contents of Rb₁ and Re+Rg₁ reached the highest under the treatment of 60% relative water content, indicating that appropriate water deficit was beneficial to the synthesis and accumulation of three monomer saponins in late growth stage of ginseng. Overall, 80% relative soil water content is the most suitable water condition for the growth and development of ginseng.

收稿日期: 2021-05-28

基金项目: 吉林省重大科技专项项目(20200504602YY); 吉林省重点科技成果转化项目(20170307009YY); 国家中药材产业技术体系项目(CARS-21)

作者简介: 李建荣(1993-), 男, 甘肃白银人, 硕士, 主要从事野生动植物保护与利用研究。(E-mail) 18946694846@163.com

通讯作者: 韩梅, (E-mail) 2432273234@qq.com

Key words: ginseng; internet of things; precision irrigation; soil environment; yield; quality

人参作为“百草之王”,药用历史悠久,是中国传统的中药材^[1]。长期以来,人参的大规模种植一直采用伐林栽培模式,对森林资源和生态环境造成严重破坏^[2]。随着国家天然林保护工程的启动实施,其传统的伐林栽培模式被农田栽培所取代。但由于人参为多年生药材,并且采用单透膜技术,遇干旱年份,产量受到很大影响,为此,水分管理一直是制约人参生产的重要技术因素之一。

近年来,随着科学技术的发展以及互联网应用的普及,物联网(IoT)技术已然成为最前沿的技术之一。基于物联网的精准灌溉技术是通过物联网监测系统实时监测作物生长的光照、空气温湿度、土壤温度、土壤湿度,实现精准控制灌溉的农业新技术,可以按照需水规律,通过灌水器将水资源均匀、定时、定量供给植物利用的过程,有效保障植物生长生存环境的有利化^[3]。该项技术较传统的地面灌溉技术具有明显的技术优势,不仅节约人工成本,提高水分利用效率和植物品质,增加植物产量,还避免了常规的水分流失等问题,有利于节约水资源,从而实现水分的生态调控。

虽然物联网灌溉技术在农业上已成熟应用^[4-6],但在中药材种植中尚不多见。因此,本研究拟通过物联网精准灌溉技术对3年生人参进行精准水分调控,分析水分对土壤理化性质、土壤酶活性、人参产

量、品质的影响,以期能为物联网灌溉技术在人参生产中的应用提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 试验地概况

试验地位于吉林省抚松县抽水乡正岔沟人参规范化栽培基地(42°22′32.72″N,127°06′54.00″E),属于大陆性高山气候,土壤属于非林地土即农田,前期作物为玉米。2017 年开展试验前期准备工作,包括样地选择与整理、人参品种选择以及物联网精准灌溉系统的布设、调试等。2018 年 5 月全面开展基于物联网精准灌溉的人参水分调控试验。

1.2 试验方法

1.2.1 试验设计 选取大小相对一致的人参苗,移栽至参床中进行滴灌水分调控试验。试验地的占地面积为10 000 m²,共设 12 串人参栽培地,每串宽×长为1.3 m×120.0 m,设置 3 个水分处理组,土壤相对含水量分别为 60%、80%、90%。每个处理组设 3 个重复,对照组(CK)为自然降水,不进行水分控制。每个处理组分布土壤水分传感器 12 个,共计 36 个土壤水分传感器,传感器距地面深度为 30 cm,其中每串人参栽培地分布 3 个,数据每隔 1 h 传输一次(图 1)。

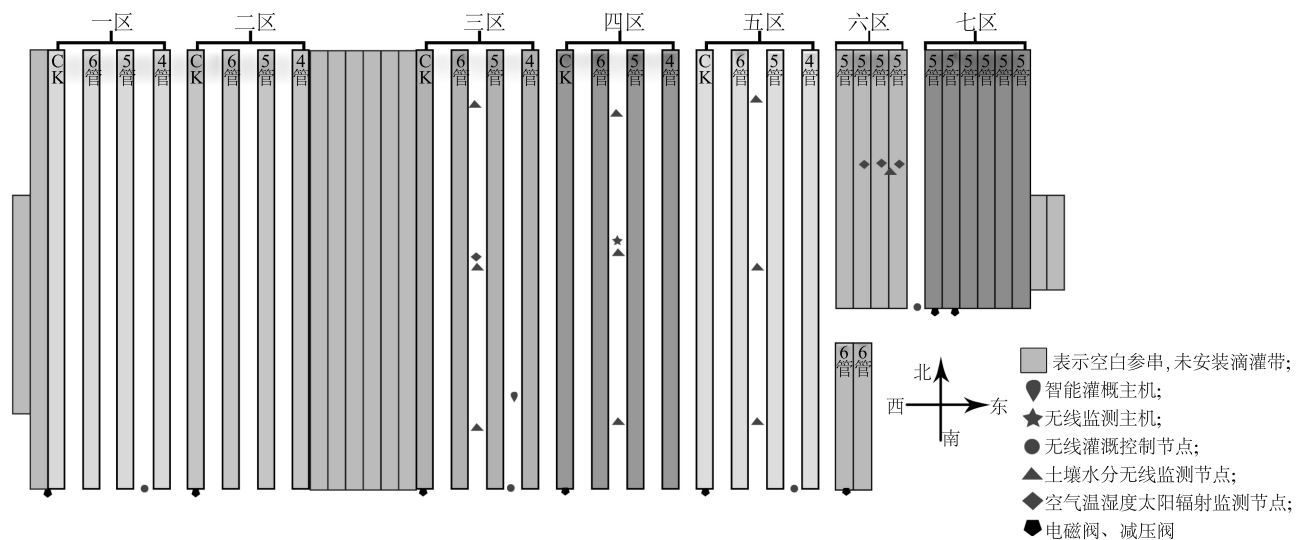


图 1 精准灌溉平台监控网络图

Fig.1 Monitoring network diagram of precision irrigation platform

1.2.2 土壤样品采集 在土壤样品的采集过程中,采用五点等距离取样法取样,用 20 目筛对采集的土壤样品进行过筛,除去杂质后进行自然晾干,用于测定土壤各项理化指标及土壤酶活性。

1.2.3 人参采集 于土壤样品采样处同时采集植物样品,采用五点等距取样法取样,在每个取样点处将 1 m² 的人参挖出,清洗干净后,晾干表面残余水分用于人参鲜品质测定;将鲜参置于 60 ℃ 烘箱中烘干用于人参干品质测定。每个处理选取 20 株人参,粉碎,过 60 目筛,用于人参皂苷含量测定。

1.3 测定指标及测定方法

1.3.1 田间土壤含水量 根据土壤中 12 个水分传感器 Soil moisture EC5 上传的数据实时监测水分变化,及时对土壤水分进行补充,让土壤水分保持在设定的控制范围内。表 1 显示,最大土壤相对含水量为 93.4% (W12),最小土壤相对含水量为 52.0% (W1)。

表 1 精准灌溉平台人参试验地土壤相对含水量水分梯度设置
Table 1 The gradient of relative soil water content of ginseng on precision irrigation platform

处理	田间土壤 相对含水量	土壤相对含水量 (%)
CK	W1	52.0
	W2	52.6
	W3	56.0
T1	W4	56.5
	W5	57.2
	W6	60.7
T2	W7	75.6
	W8	81.3
	W9	81.8
T3	W10	91.6
	W11	92.0
	W12	93.4

CK:自然降水;T1:土壤相对含水量为 60%;T2:土壤相对含水量为 80%;T3:土壤相对含水量为 90%。

1.3.1 土壤理化性质 土壤 pH 用离子测定仪测定,土壤有机质、碱解氮、速效磷、速效钾含量分别采用浓硫酸-重铬酸钾比色法、扩散皿-浓硫酸滴定法、NaHCO₃ 浸提比色法、醋酸铵浸提-火焰光度法测

定^[6]。

1.3.2 土壤酶活性 土壤脲酶、蔗糖酶、酸性磷酸酶、蛋白酶、过氧化氢酶活性分别采用靛酚比色法、硝基水杨酸比色法、磷酸苯二钠法、加勒斯江法、高锰酸钾法测定^[7]。

1.3.3 人参产量、品质 利用 3 年生人参的试验数据进行产量分析。人参品质指标包括单体皂苷 (R_{g1}、R_{b1}、R_e) 含量和总皂苷含量,分别采用高效液相色谱法和紫外分光光度法测定。

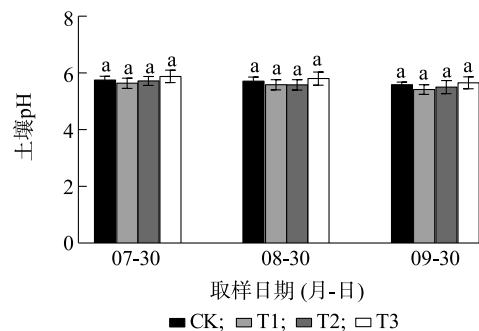
1.4 数据处理

用 Microsoft 2010、SPSS 22.0 软件对数据进行处理与分析。

2 结果与分析

2.1 不同土壤相对含水量对土壤 pH 和有机质含量的影响

土壤 pH 和有机质含量能够影响植物对养分的吸收利用,是衡量土壤肥沃程度的重要指标。图 2 显示,不同土壤相对含水量处理之间土壤 pH 差异不大,均在适宜人参生长的范围 (pH 为 5.5~6.2) 内,土壤偏酸性。



CK、T1、T2、T3 见表 1 注。图中相同取样日期不同小写字母表示不同处理间差异显著 ($P < 0.05$)。

图 2 不同土壤相对含水量下土壤 pH 变化

Fig.2 Changes of soil pH under different relative soil water content treatments

图 3 显示,土壤有机质含量总体随土壤相对含水量的增加而增大,80% 土壤相对含水量处理和 90% 土壤相对含水量处理的土壤有机质含量较高,在 8 月 30 日显著高于 60% 土壤相对含水量处理和 CK,此时为人参根部生长期,较高的土壤有机质含量有利于人参产量的提高。

2.2 不同土壤相对含水量对土壤速效氮、磷、钾含量的影响

氮、磷、钾在植物光合作用、呼吸作用等活动代谢过程中均起重要作用^[8]。表 2 显示,不同处理土壤营养成分的含量存在一定差异,8 月 30 日,80% 土壤相对含水量处理和 90% 土壤相对含水量处理的土壤速效氮含量显著高于 60% 土壤相对含水量处理和 CK ($P<0.05$),并且 80% 土壤相对含水量处理的土壤速效氮、速效磷含量最高,分别为 115.67 mg/kg 和 14.96 mg/kg,比 CK 分别增加了 33.99% 和 22.02%。8 月 30 日和 9 月 30 日,不同土壤相对含水量处理的土壤速效钾含量差异不显著。

表 2 不同土壤相对含水量下土壤速效氮、磷、钾含量

Table 2 Contents of soil available nitrogen, available phosphorus and available potassium under different relative soil water content treatments

指标	处理	7 月 30 日	8 月 30 日	9 月 30 日
速效氮含量 (mg/kg)	CK	84.97±5.26b	86.33±5.35b	99.33±8.78bc
	T1	87.37±8.87b	89.17±12.11b	93.83±4.54c
	T2	111.80±8.09a	115.67±8.61a	109.67±7.29ab
	T3	117.50±11.65a	108.63±9.19a	118.50±7.05a
速效磷含量 (mg/kg)	CK	10.73±0.53b	12.26±1.48ab	12.22±1.27b
	T1	10.50±1.63b	11.20±1.20b	12.02±1.45b
	T2	12.49±1.26ab	14.96±1.75a	12.80±0.45ab
	T3	14.50±0.71a	12.49±1.57ab	14.62±1.14a
速效钾含量 (mg/kg)	CK	2.04±0.19bc	4.05±0.48a	4.98±0.40a
	T1	1.90±0.17c	3.82±0.38a	4.63±0.24a
	T2	2.37±0.28ab	3.76±0.41a	4.60±0.30a
	T3	2.61±0.17a	3.65±0.30a	4.65±0.31a

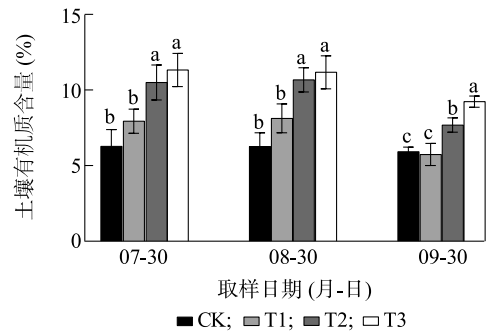
CK、T1、T2、T3 见表 1 注。同一指标同列数据后不同小写字母表示不同处理间差异显著 ($P<0.05$)。

2.3 不同土壤相对含水量对土壤酶活性的影响

土壤酶是一种活性蛋白质,参与土壤微生态环境的物质循环和能量流动过程,常用来评价土壤肥力水平^[8]。表 3 显示,8 月 30 日时,土壤过氧化氢酶、蔗糖酶活性通过水分调控显著高于 CK ($P<0.05$),并且当土壤相对含水量为 80% 时,酸性磷酸酶、土壤脲酶、过氧化氢酶、蔗糖酶活性分别是 CK 的 1.13 倍、1.33 倍、1.70 倍、1.87 倍。较高的土壤蔗糖酶、脲酶、酸性磷酸酶活性会促进氮、磷的吸收^[9],说明通过精准调控使土壤相对含水量为 80% 时土壤肥力较高,更有利于人参的生长发育。

2.4 不同土壤相对含水量对人参产量和品质的影响

2.4.1 人参单体皂苷 皂苷类物质是人参主要的



CK、T1、T2、T3 见表 1 注。图中相同取样日期不同小写字母表示不同处理间差异显著 ($P<0.05$)。

图 3 不同土壤相对含水量下土壤有机质含量变化

Fig.3 Changes of soil organic matter content under different relative soil water content treatments

药效成分,是评价人参品质的重要指标^[10]。图 4 和图 5 显示,人参皂苷含量均达到《中国药典》^[11]的品质标准。8 月 30 日,80% 土壤相对含水量处理的单体皂苷 Rb₁、Rg₁+Re 含量最高;在 9 月 30 日,90% 土壤相对含水量处理与 60% 土壤相对含水量处理的 Rb₁、Rg₁+Re 含量较高,表明适宜的水分亏缺有利于人参生长后期单体皂苷的积累。

2.4.2 人参产量和总皂苷 水分是保障人参正常生长发育的重要生态因子,影响人参的产量、品质^[12]。表 4 显示,不同土壤相对含水量对人参产量、品质影响不同。土壤相对含水量为 80% 时,人参的单位面积产量最高,可达到 2 715.64 g/m²,较 CK 增产 14.98%。土壤相对含水量为 60%、90% 时的人参单位面积产量

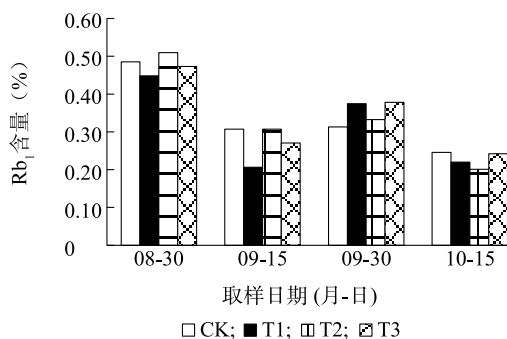
分别为 2 418.37 g/m²、2 505.65 g/m²,较 CK 分别增长 2.40%、6.09%。不同土壤相对含水量处理的人参总皂苷含量间差异不显著,但 80%土壤相对含水量处理的人参总皂苷含量最高,为 4.02%。

表 3 不同土壤相对含水量下土壤酶活性的变化

Table 3 Changes of soil enzyme activities under different relative soil water content treatments

酶活性	处理	7 月 30 日	8 月 30 日	9 月 30 日
脲酶[mg/(g · d)]	CK	6.23±0.36c	7.23±0.16c	5.95±0.05c
	T1	8.42±0.31b	7.68±0.14c	6.03±0.23c
	T2	9.78±0.52a	9.60±0.21a	8.75±0.85a
	T3	8.68±0.48b	8.31±0.05b	7.11±0.12b
酸性磷酸酶[mg/(g · d)]	CK	6.36±0.22c	8.23±0.56b	6.95±0.25b
	T1	6.72±0.64c	7.08±0.34c	7.83±0.63a
	T2	7.78±0.61b	9.30±0.16a	7.75±0.65a
	T3	8.86±0.18a	7.30±0.46c	7.71±0.62a
蛋白酶[mg/(g · d)]	CK	22.23±0.16a	19.23±0.86b	29.95±0.85a
	T1	5.42±0.21d	7.68±0.14d	7.63±1.23d
	T2	6.58±0.22c	18.60±1.21c	14.25±0.25c
	T3	10.08±0.88b	27.51±0.75a	20.81±0.52b
过氧化氢酶[mg/(g · d)]	CK	0.53±0.06b	0.53±0.07c	0.55±0.02c
	T1	0.86±0.01a	0.83±0.04b	0.73±0.03b
	T2	0.88±0.02a	0.90±0.05a	0.85±0.05a
	T3	0.78±0.08a	0.81±0.06b	0.71±0.08b
蔗糖酶[mg/(g · d)]	CK	6.16±1.22c	7.23±0.96c	6.95±0.75c
	T1	13.72±0.84a	11.88±1.34b	8.83±1.63b
	T2	12.18±0.21b	13.49±2.16a	11.75±1.45a
	T3	12.86±2.18b	11.60±1.46b	9.41±1.02b

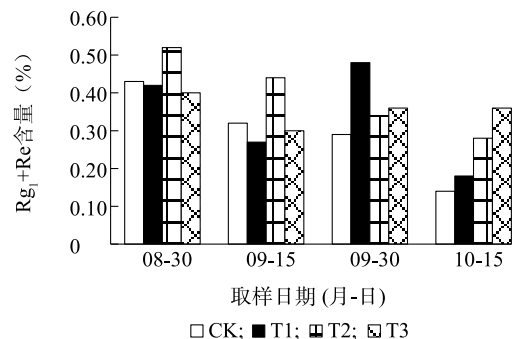
CK、T1、T2、T3 见表 1 注。同一指标同列数据后不同小写字母表示不同处理间差异显著($P<0.05$)。



CK、T1、T2、T3 见表 1 注。

图 4 不同土壤相对含水量下人参皂苷 Rb₁ 含量

Fig.4 Content of ginsenoside Rb₁ under different relative soil water content treatments



CK、T1、T2、T3 见表 1 注。

图 5 不同土壤相对含水量下人参皂苷 Rg₁+Re 含量

Fig.5 Content of ginsenoside Rg₁+Re under different relative soil water content treatments

2.5 不同土壤相对含水量下人参产量、品质与土壤性质的相关性分析

表 5 显示,不同土壤相对含水量处理下,有

机质含量与速效氮含量呈显著正相关($P<0.05$),速效磷含量与总皂苷含量呈显著正相关($P<0.05$)。土壤脲酶活性与总皂苷含量呈极

显著正相关 ($P<0.01$), 与人参总皂苷含量呈显著正相关 ($P<0.05$); 土壤酸性磷酸酶活性与人参单体皂苷 Rb_1 含量呈显著正相关 ($P<0.05$); 土壤过氧化氢酶活性与蔗糖酶活性呈极显著正相关 ($P<0.01$)。土壤养分和土壤酶活性对人参产量、品质有重要影响, 适当提高土壤氮、磷含量, 增强土壤脲酶、酸性磷酸酶等酶活性有利于促进人参的生长发育。

表 5 不同土壤相对含水量下人参产量、品质与土壤理化性质的相关性

Table 5 Correlation of ginseng yield, quality and soil physical and chemical properties under different relative soil water content treatments

项目	pH	有机质含量	速效氮含量	速效磷含量	速效钾含量	脲酶活性	酸性磷酸酶活性	蛋白酶活性	过氧化氢酶活性	蔗糖酶活性	Rb_1 含量	$Rg_1 + Re$ 含量	人参产量	人参总皂苷含量
pH	1.00													
有机质含量	0.14	1.00												
速效氮含量	-0.41	0.99*	1.00											
速效磷含量	0.16	0.57	-0.48	1.00										
速效钾含量	-0.38	-0.79	-0.60	-0.03	1.00									
脲酶活性	-0.31	0.80	0.16	0.76	-0.29	1.00								
酸性磷酸酶活性	-0.36	0.12	-0.52	0.79	0.51	0.64	1.00							
蛋白酶活性	0.82	0.49	-0.52	0.69	-0.37	0.24	0.16	1.00						
过氧化氢酶活性	-0.41	0.81	0.75	0.21	-0.63	0.77	0.06	-0.11	1.00					
蔗糖酶活性	-0.44	0.82	0.70	0.27	-0.59	0.82	0.14	-0.10	0.99**	1.00				
Rb_1 含量	-0.11	0.15	-0.67	0.88	0.45	0.59	0.97*	0.39	-0.06	0.02	1.00			
$Rg_1 + Re$ 含量	-0.71	0.23	-0.07	0.58	0.37	0.76	0.88	-0.19	0.42	0.49	0.75	1.00		
人参产量	-0.34	0.77	0.13	0.77	-0.24	0.99**	0.68	0.23	0.75	0.79	0.62	0.79	1.00	
人参总皂苷含量	-0.16	0.65	-0.22	0.96*	-0.05	0.97*	0.83	0.43	0.48	0.54	0.84	0.78	0.94	1.00

** 表示在 0.01 水平显著相关; * 表示在 0.05 水平显著相关。

3 讨论

水分参与植物的整个生命周期, 适宜的水分条件能够提高植物的产量和品质^[13-15]。农田栽培模式具有相对平缓的地形条件, 为人参生产中灌溉技术的应用创造了有利条件^[16]。

本研究结果表明, 8 月 30 日, 80% 土壤相对含水量处理的有机质含量和速效氮含量显著高于 60% 土壤相对含水量处理和 CK ($P<0.05$), 并且当土壤相对含水量为 80% 时, 土壤脲酶、酸性磷酸酶、过氧化氢酶活性最高。8 月 30 日, 3 个水分处理的土壤脲酶、酸性磷酸酶、过氧化氢酶活性以及土壤速效氮、速效磷含量均随着土壤相对含水量的增加而

表 4 不同土壤相对含水量下人参产量和总皂苷含量

Table 4 Yield and total saponins content of ginseng under different relative soil water content treatments

处理	产量 (g/m^2)	总皂苷含量 (%)
CK	2 361.80 \pm 11.14c	3.91 \pm 0.24a
T1	2 418.37 \pm 27.03bc	3.88 \pm 0.13a
T2	2 715.64 \pm 16.96a	4.02 \pm 0.25a
T3	2 505.65 \pm 50.77b	3.94 \pm 0.15a

CK、T1、T2、T3 见表 1 注。同列数据后不同小写字母表示不同处理间差异显著 ($P<0.05$)。

呈先升高后降低的倒“V”型变化趋势, 与张超宇等^[17]和陆宇明等^[18]的研究结果一致。同时, 土壤脲酶活性与人参产量呈极显著正相关 ($P<0.01$), 与人参总皂苷含量呈显著正相关 ($P<0.05$)。脲酶活性较高有利于人参对氮的吸收利用, 影响人参次生代谢, 促进人参皂苷的合成^[19]。土壤相对含水量控制在 80% 时, 人参单位面积产量最高, 可达到 2 715.64 g/m^2 , 与对照相比增产 14.98%; 人参总皂苷含量也达到最高, 为 4.02%, 但各处理间差异不显著。在 9 月 30 日, 60% 土壤相对含水量处理的人参单体皂苷 Rb_1 、 $Re+Rg_1$ 含量最高, 表明适当的水分亏缺有利于人参 Rb_1 、 Re 、 Rg_1 3 种单体皂苷的合成积累。不同土壤相对含水量处理对土壤理化性质、

土壤酶活性、人参产量和品质有不同的影响。综合考虑,80%土壤相对水含量是最适宜人参生长发育的水分条件。

通过精准灌溉系统对人参种植地的土壤水分数据进行实时监测,该系统对人参需水总量和分布进行技术控制,实现了环境要素与人参生长发育状态的结合,智能化、集约化地对人参种植地灌溉水进行精确化管理,促进了人参产业的现代化发展。

参考文献:

- [1] 崔业波,马晓静. 人参须药材质量标准的研究[J]. 中国现代应用药学, 2018,35(9):1360-1364.
- [2] 任跃英,张益胜,李国君,等. 非林地人参种植基地建设的优势分析[J]. 人参研究, 2011,23(2):34-37.
- [3] 宋 辉. 基于物联网技术的人参种植监测系统的应用研究[D]. 长春:吉林农业大学, 2018.
- [4] 刘 铭,柳 青,董丙瑞. 论物联网技术在现代农业中的应用[J]. 南方农机, 2017,48(3):54-61.
- [5] 董征宇. 基于物联网的葡萄园信息获取与智能灌溉系统设计[J]. 农机化研究, 2018,40(4):206-209.
- [6] 尹志荣,雷金银,桂林国,等.不同滴灌量对不同品种枸杞生长、产量和品质的影响[J].灌溉排水学报,2018,37(10):28-34.
- [7] 孙 卓. 人参病害生防细菌的筛选及其防病作用研究[D]. 长春:吉林农业大学, 2014.
- [8] GU C, ZHANG S, HAN P, et al. Soil enzyme activity in soils subjected to flooding and the effect on nitrogen and phosphorus uptake by oilseed rape[J]. Frontiers in Plant Science, 2019, 10: 368.
- [9] 农泽梅,史国英,曾 泉,等. 不同甘蔗品种根际土壤酶活性及微生物群落多样性分析[J]. 热带作物学报, 2020,41(4): 819-828.
- [10] 陈 敏,李高生,洗建鸿,等. 棉酚渣对尿素水解及土壤氨挥发的影响[J]. 中国土壤与肥料, 2019(5):59-64.
- [11] 国家药典委员会.中国药典[M].北京:中国医药科技出版社, 2020: 8.
- [12] LEE M H, CHOI S W, KIM E J. Differential anti-carcinogenic effect of mountain cultivated ginseng and ginseng on mouse skin carcinogenesis[J]. Journal of the Korean Society of Food Science & Nutrition, 2012, 41(4):462-470.
- [13] 陈 超,李 荣,李 芬,等. 不同沟垄覆盖下土壤水热效应对旱作马铃薯生长及产量的影响[J]. 排灌机械工程学报,2020, 38(11):1160-1166.
- [14] 李 睿,宗 晨,姜运生,等. 不同水分管理和遮阴下水稻株高及成熟期高光谱估算[J]. 江苏农业科学,2021,49(3):82-90.
- [15] 相龙康,高佩玲,张晴雯,等. 不同改良剂对滨海盐碱化土壤水盐运移特性的影响[J]. 排灌机械工程学报,2020,38(9):945-950.
- [16] 山 仑. 旱地农业技术发展趋向[J]. 中国农业科学, 2002,35(7):848-855.
- [17] 张超宇,程 林,韩 梅,等. 不同水分处理对白浆参地土壤微生物群落功能多样性和土壤状况的影响[J]. 北方园艺, 2017(17):132-138.
- [18] 陆宇明,吴东梅,许恩兰,等. 不同林龄杉木林下套种阔叶树对土壤磷组分的影响[J]. 水土保持学报, 2020,34(1):275-282.
- [19] 庞 欣,张福所,李春俭. 部分根系供磷对黄瓜根系和幼苗生长及根系酸性磷酸酶活性影响[J]. 植物生理学报, 2000,26(2):153-158.

(责任编辑:王 妮)