

不同灌水量和栽培方式对土壤养分及 菊芋产量和品质的影响

施志国,王振龙,宿翠翠,周琦,高正睿,周彦芳

(甘肃省农业工程技术研究院,甘肃武威733006)

摘要:于2021—2022年开展大田裂区试验,以灌水量为主区,3个灌水量分别为 $3\ 750\ \text{m}^3 \cdot \text{hm}^{-2}$ (W1)、 $4\ 500\ \text{m}^3 \cdot \text{hm}^{-2}$ (W2)、 $5\ 250\ \text{m}^3 \cdot \text{hm}^{-2}$ (W3),栽培方式为副区,2种方式分别为垄作(B1)、平作(B2),探索不同灌水量和栽培方式对河西荒漠化地区菊芋产量、品质和土壤养分含量的影响。结果表明,随着灌水量的增大,0~20 cm 土层土壤全氮、碱解氮、总磷、有效磷含量呈下降趋势,而速效钾含量先上升后下降,其中W2B1处理表现最佳;W2B1处理菊芋株高、茎粗、单株块茎数、单株块茎质量和产量均高于其他处理,增幅分别为1.94%~19.79%、2.71%~28.87%、8.22%~31.68%、12.22%~57.81%和12.31%~58.01%。W1B1处理菊芋块茎总糖、还原糖、可溶性糖和菊糖含量均高于其他处理,增幅分别为7.25%~18.19%、1.35%~6.19%、4.20%~39.67%和7.58%~19.10%。菊糖含量表现为W1B1>W2B1>W2B2>W1B2>W3B2>W3B1,灌水量增大不利于菊糖在块茎中积累;相同灌水定额下,垄作方式比平作更有利于块茎菊糖积累。通过主成分分析综合评价不同处理对菊芋产量和品质以及土壤养分含量的影响发现,灌水量 $4\ 500\ \text{m}^3 \cdot \text{hm}^{-2}$ 配合垄作方式效果最佳,灌水量 $5\ 250\ \text{m}^3 \cdot \text{hm}^{-2}$ 配合平作方式效果最差。

关键词:灌水量;栽培方式;菊芋;产量;品质;土壤养分;主成分分析

中图分类号:S365;S632.9 **文献标志码:**A

Effects of different irrigation amounts and cultivation methods on soil nutrients, yield and quality of Jerusalem artichoke

SHI Zhiguo, WANG Zhenlong, SU Cuicui, ZHOU Qi, GAO Zhengrui, ZHOU Yanfang

(Gansu Academy of Agri-engineering Technology, Wuwei, Gansu 733006, China)

Abstract: The field split zone experiments were conducted from 2021 to 2022. The three irrigation amounts were $3\ 750\ \text{m}^3 \cdot \text{hm}^{-2}$, $4\ 500\ \text{m}^3 \cdot \text{hm}^{-2}$ (W2), and $5\ 250\ \text{m}^3 \cdot \text{hm}^{-2}$ (W3), respectively. The cultivation methods were ridge planting (B1) and flat planting (B2). The effects of different irrigation amounts and cultivation methods on the yield, quality, and soil nutrient content of Jerusalem artichoke in the desertification area of Hexi were studied. The results showed that with the increase of irrigation amount, the content of total nitrogen, available nitrogen, total phosphorus, and available phosphorus in the 0~20 cm soil layer showed a downward trend while the content of available potassium first increased and then decreased. The W2B1 treatment performed the best. The plant height, stem diameter, number of tubers per plant, tuber mass per plant, and yield of Jerusalem artichoke treated with W2B1 were higher than other treatments, with increases of 1.94%~19.79%, 2.71%~28.87%, 8.22%~31.68%, 12.22%~57.81%, and 12.31%~58.01%, respectively. The total sugar, reducing sugar, soluble sugar, and inulin content of Jerusalem artichoke treated with W1B1 were higher than those of other treatments, with increases of 7.25%~18.19%, 1.35%~6.19%, 4.20%~39.67%, and 7.58%~19.10%, respectively. The inulin content is in the order of W1B1>W2B1>W2B2>W1B2>W3B2>W3B1. The results suggested that increasing irrigation was not conducive to the accumulation of inulin content in tubers. Under the same irrigation quota, ridge cultivation was more conducive to the accumulation of inulin in tubers than flat cultivation. Through principal component analysis, the comprehensive evaluation of the effects of different treatments on the yield and quality of Jerusalem artichoke as well as soil nutrient con-

tent showed that the combination of $4\ 500\ \text{m}^3 \cdot \text{hm}^{-2}$ irrigation with ridge planting had the best effect, while the combination of $5\ 250\ \text{m}^3 \cdot \text{hm}^{-2}$ irrigation with flat planting had the worst effect.

Keywords: irrigation amount; cultivation method; Jerusalem artichoke; yield; quality; soil nutrients; principal component analysis

菊芋 (*Helianthus tuberosus* L) 又名鬼子姜、洋姜、地姜或番姜等, 属菊科向日葵属多年生草本植物^[1], 原产于北美洲, 后经欧洲传入我国, 菊芋耐寒、耐旱、耐贫瘠, 具有很强的适应性, 是近年来发展较快的经济型作物^[2-4]。其地上茎叶和地下块茎都是优良的饲料, 块茎富含丰富的菊糖, 适宜在我国沿海地区、荒漠地区和盐碱地大面积种植^[5]。长期以来, 菊芋以分散栽培为主, 近年来其种植面积逐渐增加, 宁夏、甘肃、青海、江苏、辽宁等省(区)均已开始菊芋的规模化种植。但多参考马铃薯的种植方式, 尚未形成成熟的栽培技术体系^[6], 影响菊芋产量和品质的进一步提升。武威市凉州区是甘肃省重要的菊芋种植区, 为满足饲料和菊糖的生产需求, 近年来当地菊芋种植规模不断扩大。该地区位于河西走廊的东端, 属大陆性干旱气候, 日照时数较长, 光照资源丰富, 对农作物的生长发育十分有利^[7]; 但当地降水量较少, 水资源匮乏是其农业发展的主要限制因素。因此, 如何利用有限的水资源提高作物产量和水分利用率成为当地亟待解决的关键问题^[8]。

灌水量和栽培方式是影响作物产量、品质和土壤养分状况的重要因素。王璐等^[9]研究表明, 灌水定额为 $37.5\ \text{mm}$ 时棉花的增产效果最为显著; 刘炼红等^[10]和寇丹等^[11]研究表明调亏灌溉对西瓜、紫花苜蓿的产量和品质都有很大影响。大量研究表明, 相较于平地种植, 起垄种植能够改善土壤墒情, 提高土壤肥力, 有利于作物产量和品质的形成^[12-13]。目前水分调控和栽培方式对不同作物生长和产量的影响已有不少研究, 但关于其对河西走廊边缘绿洲地区菊芋产量和品质影响的研究尚不多见。基于此, 本研究通过分析河西走廊绿洲区不同灌水定额下两种种植方式(垄作和平作)对菊芋(‘津芋 1 号’)产量、品质以及土壤养分的影响, 探索菊芋最适宜的栽培方式和灌水量, 为降低作物旱灾减产风险、优化灌溉制度和栽培方式提供理论依据和实践指导。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

试验于 2021 年 3 月—2022 年 11 月在甘肃省武威市凉州区黄羊镇($102^{\circ}51'E$, $37^{\circ}40'N$; 海拔 $1\ 510$

m) 进行, 该地区属大陆干旱气候, 年均气温 7.7°C , 无霜期 $150\ \text{d}$ 左右, 日照时数 $3\ 028\ \text{h}$, 相对湿度 53% , $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 的有效年积温 $3\ 016^{\circ}\text{C}$, 年太阳辐射总量 $580\sim 660\ \text{kJ} \cdot \text{cm}^{-2}$ ^[14]。区内蒸发量大, 降水量少且主要集中在 6—9 月, 降水可利用率较低, 灌溉水源以地下水为主; 2021—2022 年菊芋生育期平均降水量为 $120\ \text{mm}$, 两年均属于欠水年。试验地土壤为石灰型灌漠土, 土壤基础理化性质: 有机质 $8.5\ \text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$, 全氮 $0.74\ \text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$, 碱解氮 $94\ \text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$, 有效磷 $26.4\ \text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$, 速效钾 $148\ \text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$, pH 值为 8.11 , 容重 $1.28\ \text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$ 。

1.2 试验设计

试验采用二因素裂区试验设计(表 1), 主区设置 3 种不同灌水量: $3\ 750\ \text{m}^3 \cdot \text{hm}^{-2}$ (W1), $4\ 500\ \text{m}^3 \cdot \text{hm}^{-2}$ (W2), $5\ 250\ \text{m}^3 \cdot \text{hm}^{-2}$ (W3), 灌溉方式为漫灌, 灌水量由水表控制; 副区设置 2 种栽培方式: 垄作(B1), 平作(B2); 共 6 个处理(W1B1、W1B2、W2B1、W2B2、W3B1、W3B2), 每个处理重复 3 次, 共 18 个小区, 小区面积为 $26.46\ \text{m}^2$ (长 $6.3\ \text{m}$, 宽 $4.2\ \text{m}$)。

供试菊芋品种为‘津芋 1 号’, 选取 $30\sim 40\ \text{g}$ 、无伤、无病的菊芋块茎作为种子, 每年 3 月下旬进行播种, 播种前对种植地进行翻耕平整。垄作处理垄高 $15\ \text{cm}$, 垄宽 $60\ \text{cm}$, 株行距为 $60\ \text{cm} \times 70\ \text{cm}$, 播种深度为 $10\ \text{cm}$; 平作处理株行距、播种深度与垄作一致。施肥量为纯氮 $35\ \text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$, P_2O_5 $30\ \text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$, K_2O $34\ \text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$, 全部以基肥形式施入土壤。全生育期共灌水 5 次, 苗期 1 次, 现蕾期 1 次, 其余 3 次依土壤墒情而定, 单次灌水量为各处理设置灌水量的 $1/5$ 。每年 10 月下旬进行菊芋块茎的收获。菊芋生育期随时拔除杂草, 其余管理措施同当地大田。

1.3 测定项目与方法

1.3.1 土壤化学性质测定 于 10 月中旬菊芋收获前期用土钻法采集 $0\sim 20\ \text{cm}$ 深度的土壤, 风干研磨后过筛($1\ \text{mm}$)。pH 值(水土比为 $5:1$)采用 pH 计测定; 有机质(OM)采用重铬酸钾容量法外加-硫酸亚铁滴定法测定; 碱解氮(AN)采用碱解扩散法测定; 有效磷(AP)采用 $0.5\ \text{mol} \cdot \text{L}^{-1}\ \text{NaHCO}_3$ 浸提-钼锑抗比色法测定; 速效钾(AK)采用 $1\ \text{mol} \cdot \text{L}^{-1}\ \text{NH}_4\text{Ac}$ 浸提-火焰光度法测定; 全氮(TN)采用硫酸消煮-凯式定氮法测定; 总磷(TP)采用 $\text{HClO}_4\text{-H}_2\text{SO}_4$ 消煮钼锑

抗法比色法测定^[15]。

1.3.2 菊芋生长指标测定 在菊芋成熟期分别测定茎粗和株高,茎粗(SD)为地面根茎部位的直径,用电子游标卡尺进行测定;株高(PH)为根部到主茎顶端的距离,用卷尺进行测定。每个处理各小区随机选取具有代表性植株 10 株,计数法得出单株块茎数(SN),称量其单株块茎质量(SH),通过平均单株产量及种植密度换算得出公顷产量(YD)^[16]。

1.3.3 菊芋品质测定 总糖(TS)含量采用苯酚-硫酸法测定;还原糖(RS)含量采用 3,5-二硝基水杨酸比色法(DNS)测定^[17];菊糖(LL)含量=总糖含量-还原糖含量;可溶性糖(SS)含量采用蒽酮法测定^[18]。

1.4 统计分析

使用 Excel 2010 软件整理数据,采用 SPSS 21.0 软件进行统计分析,用 LSD 法进行显著性检验,显著性水平 $P < 0.05$ ($n = 5$),通过隶属函数 $u(X_j - X_{\min}) / (X_{\max} - X_{\min})$, ($j = 1, 2, \dots, n$) 求得 u_1, u_2, u_3 , 进一步计算权重 $W_j = P_j / \sum_{j=1}^n P_j$, 以及综合评价价值 D 值: $D = \sum_{j=1}^n [u(X_j) \times W_j]$ 。

2 结果与分析

2.1 不同处理对土壤养分含量的影响

由表 1 可知,灌水量(W)、栽培方式(B)及两因素交互(W×B)均可极显著影响土壤全氮、总磷和有效磷含量($P < 0.01$)。2021 年和 2022 年,W2B1 处理的全氮含量最高,较其他处理分别显著提高

17.39%~76.09%和 12.99%~55.36%;2021 年 W1B1 处理的总磷和有效磷含量最高,且显著高于其他处理,2022 年 W1B1 和 W1B2 处理的总磷含量最高,W1B1 处理的有效磷含量最高,两年表现为 W1>W2>W3,说明灌水量越大,磷含量越小。灌水量可显著影响($P < 0.05$)土壤有机质含量,而栽培方式影响不显著($P > 0.05$),二者交互作用可极显著影响土壤有机质含量($P < 0.01$);2021 年 W3B2 处理的土壤有机质含量最高,2022 年 W2B1 处理最高,且与其他处理差异显著,2021 年和 2022 年分别为 W1B2 和 W3B1 处理的土壤有机质含量最低。灌水量可极显著影响土壤碱解氮含量($P < 0.01$),栽培方式无显著影响($P > 0.05$),二者交互作用影响显著($P < 0.05$);2022 年各处理的碱解氮含量较 2021 年有不同程度的提高,W3B2 处理显著低于其他处理,其他处理间均无显著差异。灌水量和栽培方式可显著影响($P < 0.05$)土壤速效钾含量,两因素交互作用有极显著影响($P < 0.01$);两个年份 W2B1 处理土壤速效钾含量均为最高,W1B1 处理最低,W2B1 较 W1B1 分别显著增加 26.51%和 22.58%。

2.2 不同处理对菊芋生长指标和产量的影响

由表 2 可看出,灌水量和栽培方式可极显著影响菊芋株高($P < 0.01$),二者交互作用对菊芋株高影响不显著($P > 0.05$);2022 年相比 2021 年各处理下的菊芋株高无显著变化,其中 2022 年 W2B1 处理的株高最高(296.37 cm),W1B1、W1B2 处理的株高最低,W3B1、W3B2 处理株高低于 W2B1,说明灌水量增加或减少都会影响菊芋株高的增长,且在同一灌

表 1 不同处理对土壤养分含量的影响

Table 1 Effects of different treatments on soil nutrient content

年份 Year	处理 Treatment	全氮 Total N /(g·kg ⁻¹)	总磷 Total P /(g·kg ⁻¹)	有机质 Organic matter /(g·kg ⁻¹)	碱解氮 Available N /(mg·kg ⁻¹)	有效磷 Available P /(mg·kg ⁻¹)	速效钾 Available K /(mg·kg ⁻¹)
2021	W1B1	0.69±0.01b	0.83±0.01a	9.71±0.15c	84.47±0.34b	32.28±0.72a	148.65±2.12d
	W1B2	0.49±0.01de	0.71±0.00c	8.37±0.17e	87.15±0.97a	23.73±0.91c	165.39±1.78bc
	W2B1	0.81±0.01a	0.76±0.01b	10.55±0.20b	79.82±0.60c	27.74±0.34b	188.06±8.25a
	W2B2	0.60±0.01c	0.64±0.01d	8.63±0.13d	85.99±0.25ab	12.60±0.33d	159.28±3.53cd
	W3B1	0.46±0.01e	0.63±0.01d	9.57±0.17c	80.13±0.54c	9.20±0.38e	177.78±5.35ab
	W3B2	0.52±0.01d	0.64±0.01d	11.16±0.11a	66.36±0.58d	9.23±0.20e	162.41±3.16cd
2022	W1B1	0.80±0.01b	0.84±0.01a	13.18±0.32b	89.35±0.69a	34.45±1.16a	156.51±2.12c
	W1B2	0.77±0.01b	0.85±0.01a	12.74±0.20b	88.17±2.37a	30.03±0.26b	169.80±1.78bc
	W2B1	0.87±0.01a	0.79±0.01b	14.28±0.16a	82.39±1.73a	28.32±1.35b	191.85±8.26a
	W2B2	0.65±0.01c	0.74±0.01c	11.73±0.21c	87.49±4.41a	17.60±1.15c	162.80±3.53c
	W3B1	0.61±0.01d	0.70±0.01d	9.02±0.05d	81.98±2.12a	11.51±0.43d	177.71±5.34b
	W3B2	0.56±0.01e	0.71±0.01d	9.54±0.07d	69.08±2.68b	13.57±0.34d	165.77±3.16bc
F	灌水量 W	260.40**	408.31**	6.23*	13.86**	239.05**	6.19*
	栽培方式 B	227.93**	117.00**	0.77ns	2.01ns	34.95**	7.78*
	W×B	74.16**	48.00**	187.76**	6.23*	25.09**	13.79**

注:同列不同小写字母表示同一年份各处理间差异显著($P < 0.05$);*表示 $P < 0.05$,**表示 $P < 0.01$,差异有统计学意义;ns表示 $P > 0.05$,差异无统计学意义。下同。

Note: Different lowercase letters in the same column indicate significant differences between treatments in the same year ($P < 0.05$). * indicates $P < 0.05$, and ** indicates $P < 0.01$, with a statistically significant difference; ns represents $P > 0.05$, with no statistically significant difference. The same below.

表 2 不同处理对菊芋生长指标和产量的影响

Table 2 Effects of different treatments on growth indicators and yield of Jerusalem artichoke

年份 Year	处理 Treatment	株高 Plant height/cm	茎粗 Stem diameter/mm	单株块茎数 Tuber number per plant	单株块茎质量 Tuber mass per plant/kg	产量 Yield/(t · hm ⁻²)
2021	W1B1	251.43±4.41c	20.29±1.33b	49.00±4.36a	2.80±0.42ab	66.74±10.11ab
	W1B2	246.07±3.82c	24.95±1.87a	43.67±6.94a	3.44±0.41ab	81.94±9.86ab
	W2B1	294.88±4.05a	25.49±1.83a	53.33±9.96a	4.01±0.54a	95.40±12.89a
	W2B2	288.65±2.80a	24.14±0.69ab	47.33±2.19a	3.52±0.45ab	83.73±10.82ab
	W3B1	285.46±3.68a	24.28±0.39ab	45.67±3.18a	2.82±0.14ab	67.09±3.38ab
	W3B2	272.51±4.62b	22.86±0.83ab	45.67±3.93a	2.38±0.12b	56.69±2.82b
2022	W1B1	252.29±3.49d	20.61±1.13c	47.00±1.00b	2.95±0.27c	70.35±6.46c
	W1B2	247.40±1.14d	25.23±0.55ab	43.33±2.85bc	3.44±0.18b	81.94±4.33b
	W2B1	296.37±0.96a	26.56±0.55a	52.67±1.76a	4.04±0.12a	96.23±2.84a
	W2B2	290.74±2.48ab	24.89±1.60ab	48.00±1.54ab	3.60±0.04ab	85.68±1.19ab
	W3B1	287.83±0.97b	25.86±0.75ab	48.67±1.76ab	2.85±0.04c	67.81±1.10c
	W3B2	272.95±1.02c	23.08±0.89bc	40.00±0.58c	2.56±0.04c	60.90±0.98c
F	灌水量 W	244.99**	4.37*	4.53*	15.99**	15.99**
	栽培方式 B	24.14**	0.25ns	8.96*	0.29ns	0.29ns
	W×B	2.32ns	9.74**	0.48ns	3.94*	3.94*

水定额下,栽培方式垄作株高高于平作。灌水量可显著影响菊芋茎粗,二者交互作用可极显著影响茎粗;两年中 W2B1 处理的茎粗最大,分别较 W1B1 显著提高 25.63% 和 28.87% ($P<0.05$)。2021 年,各处理之间菊芋块茎数无显著差异;2022 年 W2B1 处理的块茎数最多,与 W1B1、W1B2、W3B2 差异显著。灌水量可极显著影响菊芋产量,而栽培方式无显著影响 ($P>0.05$),二者的交互作用影响显著 ($P<0.05$)。2022 年相比 2021 年各处理下的菊芋产量均有提高,其中,2022 年 W2B1 处理产量最高 ($96.23 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$),与 W2B2 处理差异不显著;W3B1 和 W3B2 处理的产量最低,两年分别较 W2B1 处理降低 29.53% 和 36.71% ($P<0.05$),说明两种栽培方式下灌水量超过一定限度均会造成菊芋产量下降。

2.3 不同处理对菊芋块茎品质的影响

由表 3 可知,灌水量、栽培方式以及两因素交互作用均可极显著影响总糖和菊糖含量 ($P<0.01$)。2022 年相比 2021 年各处理下的总糖和菊糖含量无明显变化,W1B1 处理两年均为最高,2021 年总糖和菊糖较其他处理分别提高 6.51%~21.34% 和 6.91%~22.18% ($P<0.05$),2022 年分别提高 7.25%~18.19% 和 7.58%~19.10% ($P<0.05$),W3B1、W3B2 处理的总糖和菊糖含量最低,说明随着灌水量增加,块茎的总糖和菊糖含量减小,且垄作高于平作。灌水量对菊芋还原糖含量无显著影响 ($P>0.05$),栽培方式可显著影响还原糖含量 ($P<0.05$),两因素交互作用影响极显著 ($P<0.01$)。2021 年垄作处理各灌水量 (W1B1、W2B1、W3B1) 之间差异不显著,3 个

灌水定额下垄作处理还原糖含量显著高于相应平作处理;2022 年,W1B1 和 W1B2 处理间还原糖含量差异显著,其他各处理间无显著差异。灌水量极显著影响菊芋可溶性糖含量 ($P<0.01$),而栽培方式和两因素交互作用无显著影响 ($P>0.05$)。两个试验年份两种栽培方式下可溶性糖含量均随灌水量增大呈先降后升的变化趋势,灌水量之间差异显著,W1B1 处理最高,2021 年较其他处理显著提高 22.70%~72.56% ($P<0.05$);3 种灌水量下垄作处理可溶性糖含量均高于相应平作处理,2021 年差异显著 ($P<0.05$)。

2.4 土壤化学性质与菊芋生长指标和块茎品质的相关性

相关系数矩阵对主成分分析具有重要的参考价值,一般而言,相关系数高的变量会进入同一个主成分,但除相关系数外,数据结构也决定了变量在主成分中的地位^[19]。由表 4 可以看出,土壤全氮与总磷、有机质、有效磷、速效钾、总糖和菊糖存在显著正相关关系,相关系数分别为 0.818、0.948、0.874、0.891、0.830 和 0.846;总磷与有机质存在显著正相关关系(相关系数为 0.822),与有效磷存在极显著正相关关系(相关系数为 0.986);土壤有机质与有效磷、速效钾、总糖和菊糖存在显著正相关关系,相关系数分别为 0.882、0.853、0.826 和 0.840;土壤有效磷与总糖和菊糖存在显著正相关关系,相关系数为 0.820、0.830;菊芋株高与块茎可溶性糖存在显著的负相关关系,相关系数为-0.836;菊糖与总糖之间存在极显著的正相关关系,相关系数为 0.999,与其他指标的相关性均不显著。

表 3 不同处理对菊芋块茎品质的影响/(g·kg⁻¹)
Table 3 Effects of different treatments on tuber quality of Jerusalem artichoke

年份 Year	处理 Treatment	总糖 Total sugar	还原糖 Reducing sugar	可溶性糖 Soluble sugar	菊糖 Inulin
2021	W1B1	634.68±6.72a	30.58±0.09a	49.67±0.72a	604.10±6.80a
	W1B2	558.78±3.60c	27.96±0.73bc	40.48±0.33b	530.82±3.98c
	W2B1	595.90±3.62b	30.82±0.12a	30.42±0.59d	565.08±0.88b
	W2B2	555.73±1.00c	27.14±0.12c	28.78±0.25e	528.59±3.69c
	W3B1	527.19±5.60d	30.20±0.25a	33.43±0.49c	496.99±3.83d
	W3B2	523.04±3.88d	28.61±0.08b	31.18±0.27d	494.43±0.57d
2022	W1B1	631.26±3.87a	30.69±0.93a	43.41±1.58a	600.57±4.79a
	W1B2	555.30±10.55cd	28.90±0.23b	41.66±0.68a	526.40±10.41cd
	W2B1	588.56±4.74b	30.28±0.54ab	31.34±0.73c	558.28±5.07b
	W2B2	564.18±4.96c	29.23±0.52ab	31.08±1.02c	534.94±4.92c
	W3B1	534.12±6.60e	29.86±0.26ab	35.13±0.39b	504.25±6.63e
	W3B2	538.03±5.56de	28.97±0.27ab	34.91±0.66b	509.07±5.76de
F	灌水量 W	41.87**	0.14ns	78.03**	39.56**
	栽培方式 B	37.56**	7.45*	0.96ns	33.26**
	W×B	19.88**	16.47**	0.48ns	18.61**

2.5 主成分分析

影响菊芋生长的不同因素间存在一定的交互关系,使许多指标信息发生交织和重叠^[20]。主成分分析是将多个指标转化为少数几个不相关综合指标的一种统计分析方法。应用主成分分析法可在复杂的土壤肥力指标和生长指标中筛选出若干个彼此不相关的综合性指标,且能够反映原来全部指标所提供的大部分信息^[21]。本研究选取了土壤与菊芋生长和品质指标共 15 项数据进行主成分分析,组成 3×15 的原始矩阵,最终产生 3 个主成分。由表 5 可知,3 个主成分产生的特征值分别为 5.337、0.416、3.186,其对总方差的贡献率分别为 53.633%、25.833%、11.523%。依据提取主成分个数的累积贡献率≥85%的原则,3 个主成分的方差累积贡献率能够反映各指标 90.989%的信息,说明 3 个主成分可以衡量这 15 个指标的所有信息。

由表 5 可知,由特征值产生的特征向量能说明主成分与原始变量之间的关系,此关系与特征向量的绝对值成正比。在第 1 主成分上,单株块茎数、碱解氮、产量、单株块茎质量、菊糖、总糖、全氮、有机质有较大的向量值,表明这些指标反映土壤中的氮和有机质含量对菊芋块茎产量和品质的影响;在第 2 主成分上,可溶性糖、株高、茎粗、有效磷、总磷有较大的向量值,可见这些指标反映磷含量对菊芋生长的影响;第 3 主成分上,还原糖和速效钾有较大的向量值,其中还原糖有较大的负向量值,可见土壤速效钾含量直接影响菊芋还原糖的含量。

2.6 基于主成分分析对各处理的评价

本试验中 15 个土壤指标和菊芋生长品质指标具有不同的量纲,且其数量级差别也很大,因此需

要对原始数据进行标准化处理,以消除量纲和数量级对评价结果的影响,确保主成分分析结果的客观性和科学性。标准化后的指标分别用 ZSN、ZAN、ZYD、ZSH、ZLL、ZTS、ZTN、ZOM、ZSS、ZPH、ZSD、ZTP、ZAP、ZRS、ZAK 表示。主成分是 15 个标准化指标的线性组合,权重系数分别为各指标相对应的特征向量(表 5),因此可得各主成分的函数表达式:

$$F1 = 0.913ZSN + 0.896ZAN + 0.735ZYD + 0.735ZSH - 0.732ZLL - 0.725ZTS + 0.706ZTN + 0.669ZOM + 0.240ZSS + 0.077ZPH + 0.176ZSD + 0.516ZTP + 0.543ZAP + 0.152ZRS + 0.438ZAK$$

F2、F3 同样可以由表 5 的标准化标量表示。

通过隶属函数综合评价 D 值计算可得 W2B1 处理得分最高(0.991),其次为 W2B2(得分为 0.866),W3B2 处理得分最低(0.253),排名为 W2B1 > W2B2 > W1B2 > W3B1 > W1B1 > W3B2,说明灌水量 4 500 m³·hm⁻² 配合垄作方式效果最佳,灌水量 5 250 m³·hm⁻² 配合平作方式效果最差(表 6)。

3 讨论

水是保证作物生长发育的重要因素,土壤养分作为作物生长的营养基础,受灌水量的影响较大。朱靖蓉等^[22]研究表明,灌溉影响 0~100 cm 土层土壤碱解氮含量,20 cm 土层以下的碱解氮含量随着灌水量增大而增大。本研究也表明,两个试验年份 0~20 cm 土层土壤碱解氮含量表现为 W1 > W2 > W3,即耕层土壤中碱解氮含量随着灌水量的增加而减少;且随着灌水量的增加,土壤总磷和有效磷的含量也逐渐降低,这与董业雯^[23]研究结果一致。本研究还发现,随着灌水量的增加,土壤速效钾含量呈先

表 4 土壤化学性质指标与菊芋生物学指标之间的相关系数矩阵

Table 4 Correlation coefficient matrix between soil chemical property indexes and Jerusalem artichoke biological indexes

指标 Index	全氮 TN	总磷 TP	有机质 OM	碱解氮 AN	有效磷 AP	速效钾 AK	株高 PH	茎粗 SD	单株块茎数 SN	单株块茎质量 SH	产量 YD	总糖 TS	还原糖 RS	可溶性糖 SS	菊糖 LL	
全氮 TN	1.000															
总磷 TP	0.818*	1.000														
有机质 OM	0.948*	0.822*	1.000													
碱解氮 AN	0.536	0.611	0.537	1.000												
有效磷 AP	0.874*	0.986**	0.882*	0.575	1.000											
速效钾 AK	0.891*	0.761	0.853*	0.314	0.779	1.000										
株高 PH	-0.176	-0.675	-0.167	-0.247	-0.602	-0.172	1.000									
茎粗 SD	0.084	-0.122	0.059	0.107	-0.179	0.366	0.490	1.000								
单株块茎数 SN	0.780	0.398	0.714	0.641	0.479	0.514	0.299	0.162	1.000							
单株块茎质量 SH	0.690	0.413	0.731	0.570	0.433	0.710	0.339	0.663	0.741	1.000						
产量 YD	0.692	0.416	0.734	0.572	0.436	0.712	0.336	0.661	0.741	1.000**	1.000					
总糖 TS	0.830*	0.725	0.826*	0.473	0.820*	0.534	-0.289	-0.450	0.698	0.327	0.330	1.000				
还原糖 RS	-0.420	-0.293	-0.372	0.266	-0.284	-0.768	-0.022	-0.569	-0.003	-0.415	-0.416	0.066	1.000			
可溶性糖 SS	0.417	0.697	0.332	0.386	0.692	0.192	-0.836*	-0.689	0.127	-0.267	-0.264	-0.700	0.220	1.000		
菊糖 LL	0.846*	0.736	0.840*	0.464	0.830*	0.562	-0.288	-0.430	0.698	0.342	0.345	0.999**	0.001	0.649	1.000	

注: * 代表差异显著($P<0.05$), ** 代表差异极显著($P<0.01$)Note: * represents a significant difference ($P<0.05$). ** represents a significant difference ($P<0.01$).

表 5 影响菊芋生长的各指标主成分分析

Table 5 Principal component analysis of each index affecting the growth of Jerusalem artichoke

序号 Number	指标 Index	主成分 1 Component 1	主成分 2 Component 2	主成分 3 Component 3
1	单株块茎数 SN	0.913	0.126	0.119
2	碱解氮 AN	0.896	-0.213	-0.091
3	产量 YD	0.735	0.401	0.523
4	单株块茎质量 SH	0.735	0.404	0.521
5	菊糖 LL	-0.732	0.549	-0.144
6	总糖 TS	-0.725	0.543	-0.178
7	全氮 TN	0.706	-0.275	0.593
8	有机质 OM	0.669	-0.225	0.599
9	可溶性糖 SS	0.240	-0.961	-0.070
10	株高 PH	0.077	0.932	-0.107
11	茎粗 SD	0.176	0.705	0.460
12	总磷 TP	0.516	-0.656	0.516
13	有效磷 AP	0.543	-0.633	0.517
14	还原糖 RS	0.152	-0.136	-0.955
15	速效钾 AK	0.438	-0.145	0.883
特征值 Eigenvalue		5.337	0.416	3.186
贡献率/% Contribution rate		53.633	25.833	11.523
累积贡献率 Cumulative contribution rate/%		53.633	79.465	90.989

增大后减少的趋势,灌水量为 $4\ 500\ \text{m}^3 \cdot \text{hm}^{-2}$ 时含量最大,这与土壤中的氮、磷含量的变化有差异,可能是因为随着灌水量的逐渐增大,土壤速效钾的迁移速度和深度也会增加,随水迁移到 40 cm 以下,受淋溶作用的影响而不易在地表聚集^[24]。本研究发现在相同灌水量下,0~20 cm 土层土壤全氮、有效磷和速效钾含量整体表现为垄作高于平作。高明等^[25]研究结果也表明,垄作栽培处理的表层土壤全氮、总磷、有效磷和速效钾含量均高于平作。

农艺性状是植物生长的物质基础,也是产量和品质形成的外在表现。曹军等^[26]研究表明,滴灌量不足会造成春小麦生育期提前、株高降低、个体弱小,过量滴灌则导致生育期延迟,麦株营养生长过旺,影响穗部发育,进而影响产量;适量滴灌处理的春小麦个体生长稳健,产量结构得到优化。耿慧等^[27]研究发现,灌水量对紫花苜蓿的生长高度等农艺性状有显著影响,各指标随着灌水量的增加达峰值后转为负增长。金建新等^[28]研究发现,当灌水定额超过 $4\ 500\ \text{m}^3 \cdot \text{hm}^{-2}$ 时,马铃薯的边际产量随着灌水量的增加而降低,表现为灌水量报酬递减的趋势,当灌水量大于 $5\ 460\ \text{m}^3 \cdot \text{hm}^{-2}$ 时,随着灌水量的增加,马铃薯产量呈现下降的趋势。本研究发

表 6 不同处理对菊芋产量和品质以及土壤肥力指标影响的综合评价

Table 6 Comprehensive evaluation of the effects of different treatments on the yield and quality of Jerusalem artichoke and soil fertility index

处理 Treatment	F1	F2	F3	u1	u2	u3	D 值(得分) D value (Score)	排名 Rank
W1B1	0.509	-1.586	-0.545	0.940	0.000	0.229	0.583	5
W1B2	0.220	-0.778	0.948	0.831	0.319	0.833	0.686	3
W2B1	0.668	0.866	1.360	1.000	0.969	1.000	0.991	1
W2B2	0.574	0.944	-0.831	0.965	1.000	0.113	0.866	2
W3B1	0.008	0.481	-1.110	0.751	0.817	0.000	0.674	4
W3B2	-1.979	0.074	0.179	0.000	0.656	0.522	0.253	6

水量为 $4\ 500\ \text{m}^3 \cdot \text{hm}^{-2}$ 时菊芋的株高、茎粗、块茎个数和产量均达到最大值,且随着灌水量的增加,各项指标呈现先增大后减小的趋势,这可能是由于过多的水分投入抑制了根系活性,植株表现为生理缺水,进而影响作物生长及产量的提高^[29]。

糖含量是评价菊芋品质的重要指标。本研究发

发现,灌水量 $3\ 750\ \text{m}^3 \cdot \text{hm}^{-2}$ 配合垄作栽培方式下,菊芋块茎中总糖、菊糖和可溶性糖含量均高于其他处理;在 3 个灌水定额下,2021 年垄作栽培方式的还原糖含量均显著高于平作。周啸尘^[30]研究表明,当灌水量在总灌水量的基础上减少 25% 时,番茄的可溶性固形物、可溶性糖以及有机酸含量均较其他灌水量处理有所提高;曲嫣红等^[31]研究表明,垄作

方式能增加甜菜含糖率,最高可较平作方式提高 0.29 度。以上研究均与本研究结果相似,说明在垄作栽培方式下,适当的调亏灌溉有利于糖分在菊芋中累积。

本研究通过相关性分析发现,土壤各化学指标间均表现为显著的正相关关系,菊芋块茎中总糖和菊糖含量与土壤全氮、有机质、有效磷含量呈显著正相关关系,说明菊芋块茎品质与这 3 个指标相关性较强。近年来,主成分分析在作物评价中得到广泛应用^[32-33],本研究利用主成分分析方法将原始表征土壤化学和生物学性质的 15 个指标降维,并提取 3 个主成分,其累积贡献率达 90.989%,碱解氮、全氮、有机质、单株块茎数、单株块茎质量、产量、总糖

和菊糖在第 1 主成分上有较高的载荷值,总磷、有效磷、可溶性糖、株高和茎粗在第 2 主成分上有较高的载荷值,速效钾、还原糖在第 3 个主成分上有较高的载荷值,3 个主成分涵盖了 6 个土壤化学指标、9 个生物学指标,原变量信息无丢失,说明利用主成分分析衡量不同处理对土壤质量以及菊芋产量和品质的影响是可靠的。对 15 个土壤化学和生物学指标进行主成分得分评价,以不同处理下的主成分得分评价标准进行排序,各处理表现为 W2B1>W2B2>W1B2>W3B1>W1B1>W3B2,说明灌水量为 4 500 m³·hm⁻²配合垄作栽培的增产提质效果最佳。

4 结 论

1) 随着灌水量的增大,土壤全氮、碱解氮、总磷、有效磷含量呈下降趋势,而速效钾含量则表现为先上升后下降;相同灌水定额下,垄作栽培方式土壤养分含量总体高于平作。

2) 灌水定额 4 500 m³·hm⁻²配合垄作栽培方式下,菊芋株高、茎粗、单株块茎数、单株块茎质量和产量均高于其他处理,较其他处理产量增幅为 12.31%~58.01%。

3) 灌水定额 3 750 m³·hm⁻²配合垄作栽培方式块茎菊糖含量显著高于其他处理,表现为 W1B1>W2B1>W2B1>W2B2>W3B1>W3B2,即灌水量增大不利于菊糖含量在块茎中的积累;相同灌水定额下,垄作栽培方式较平作更有利于块茎菊糖积累。

4) 主成分分析综合评价结果表明,灌水量 4 500 m³·hm⁻²配合垄作方式对菊芋产量、品质及土壤养分的综合提升效果最佳,灌水量 5 250 m³·hm⁻²配合平作方式效果最差。影响土壤肥力以及菊芋产量、品质的主要因素为灌水量,其次是栽培方式;垄作效果优于平作。

参 考 文 献:

[1] 黄增荣, 隆小华, 李洪燕, 等. 江苏北部滨海盐土盐肥耦合对菊芋生长和产量的影响[J]. 土壤学报, 2010, 47(4): 709-714.
HUANG Z R, LONG X H, LI H Y, et al. Coupling effect of salt and fertilizer application on *Helianthus tuberosus* in soils of north Jiangsu coastal mudflat different in salt concentration[J]. Acta Pedologica Sinica, 2010, 47(4): 709-714.

[2] 汪悦, 薛夫光, 蒋林树, 等. 菊芋饲料的营养价值、生物活性及其对动物生理功能的调控作用[J]. 动物营养学报, 2020, 32(2): 497-507.
WANG Y, XUE F G, JIANG L S, et al. Nutritional value and biological activity of Jerusalem artichoke feed and its regulation effects on animal physiological function[J]. Chinese Journal of Animal Nutrition, 2020, 32(2): 497-507.

[3] 李玲玉, 孙晓晶, 郭富金, 等. 菊芋的化学成分、生物活性及其利

用研究进展[J]. 食品研究与开发, 2019, 40(16): 213-218.
LI L Y, SUN X J, GUO F J, et al. Study on the chemical and bioactive compounds and applications of *Helianthus tuberosus* L.[J]. Food Research and Development, 2019, 40(16): 213-218.

[4] 高凯, 朱铁霞, 邓波, 等. 顶端优势去除对菊芋物质分配规律的影响[J]. 中国草地学报, 2016, 38(1): 14-19.
GAO K, ZHU T X, DENG B, et al. The influence of removal of apical dominance on matter allocation in Jerusalem artichoke[J]. Chinese Journal of Grassland, 2016, 38(1): 14-19.

[5] 黄增荣, 隆小华, 刘兆普, 等. KNO₃对 NaCl 胁迫下两菊芋品种幼苗生长及光合能力的影响[J]. 草业学报, 2011, 20(1): 82-88.
HUANG Z R, LONG X H, LIU Z P, et al. Effects of KNO₃ on the growth and photosynthetic capacity of two varieties of *Helianthus tuberosus* seedlings under NaCl stress[J]. Acta Prataculturae Sinica, 2011, 20(1): 82-88.

[6] 钟启文, 刘素英, 王丽慧, 等. 菊芋氮、磷、钾吸收积累与分配特征研究[J]. 植物营养与肥料学报, 2009, 15(4): 948-952.
ZHONG Q W, LIU S Y, WANG L H, et al. Absorption, accumulation and allocation of nitrogen, phosphorus and potassium of Jerusalem artichoke[J]. Journal of Plant Nutrition and Fertilizers, 2009, 15(4): 948-952.

[7] 杨珍, 赵军, 李斌, 等. 不同灌溉定额对河西走廊边缘绿洲甜高粱水分利用率及产量的影响[J]. 农业科技通讯, 2019, (7): 158-164.
YANG Z, ZHAO J, LI B, et al. Effect of different irrigation rations on water use efficiency and yield of sweet sorghum in oasis at the edge of Hexi corridor[J]. Bulletin of Agricultural Science and Technology, 2019, (7): 158-164.

[8] 蒋菊芳, 刘明春, 魏国园, 等. 不同灌溉量对沙漠边缘春小麦生育特征及产量的影响[J]. 安徽农业科学, 2009, 37(29): 14075-14077.
JIANG J F, LIU M C, WEI Y G, et al. Study on effect of different irrigation to growing characters of spring wheat and yield in edge of a desert[J]. Journal of Anhui Agricultural Sciences, 2009, 37(29): 14075-14077.

[9] 王璐, 刘浩, 高福奎, 等. 不同种植模式和灌水定额对棉花生长和产量的影响[J]. 灌溉排水学报, 2023, 42(5): 16-23.
WANG L, LIU H, GAO F K, et al. Effects of different planting patterns and irrigation quota on cotton growth and yield[J]. Journal of Irrigation and Drainage, 2023, 42(5): 16-23.

[10] 刘炼红, 莫言玲, 杨小振, 等. 调亏灌溉合理滴灌频率提高大棚西瓜产量及品质[J]. 农业工程学报, 2014, 30(24): 95-104.
LIU L H, MO Y L, YANG X Z, et al. Reasonable drip irrigation frequency improving watermelon yield and quality under regulated deficit irrigation in plastic greenhouse [J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2014, 30(24): 95-104.

[11] 寇丹, 苏德荣, 吴迪, 等. 地下调亏滴灌对紫花苜蓿耗水、产量和品质的影响[J]. 农业工程学报, 2014, 30(2): 116-123.
KOU D, SU D R, WU D, et al. Effects of regulated deficit irrigation on water consumption, hay yield and quality of alfalfa under subsurface drip irrigation[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2014, 30(2): 116-123.

[12] 仪泽会, 王生武, 姜浩富, 等. 起垄栽培对胡萝卜产量、病害、土壤微环境及机械化采收的影响[J]. 河南农业科学, 2021, 50(4): 124-130.
YI Z H, WANG S W, JIANG H F, et al. Effects of ridging cultivation on yield, disease, soil microenvironment and mechanized harvesting of carrot [J]. Journal of Henan Agricultural Sciences, 2021, 50(4): 124-130.

- [13] 张秋平, 徐江林, 马肖, 等. 机械起垄栽培对油菜产量及农艺性状的影响[J]. 中国农技推广, 2019, 35(增刊1): 8-10.
ZHANG Q P, XU J L, MA X, et al. The effect of mechanical ridge cultivation on the yield and agronomic characters of rapeseed [J]. China Agricultural Technology Extension, 2019, 35(S1): 8-10.
- [14] 吴科生, 车宗贤, 包兴国, 等. 灌漠土长期有机配施土壤肥力特征和作物产量可持续性分析[J]. 水土保持学报, 2021, 35(3): 333-340.
WU K S, CHE Z X, BAO X G, et al. Analysis on soil fertility characteristics and crop yield sustainability of irrigated desert soil with long-term organic fertilization application [J]. Journal of Soil and Water Conservation, 2021, 35(3): 333-340.
- [15] 鲍士旦. 土壤农化分析[M]. 3版. 北京: 中国农业出版社, 2000.
BAO S D. Soil and agricultural chemistry analysis [M]. 3rd ed. Beijing: China Agriculture Press, 2000.
- [16] 李晓丹. 不同菊芋品种生育、产量及营养成分的比较[D]. 长春: 东北师范大学, 2014.
LI X D. Comparison of development, yield and nutrition content of different varieties of *Helianthus tuberosus* [D]. Changchun: Northeast Normal University, 2014.
- [17] 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.
LI H S. Principles and techniques of plant physiological biochemical experiment [M]. Beijing: Higher Education Press, 2000.
- [18] 孙晓娥. 氮磷及其交互效应对菊芋生长、块茎产量及品质的影响[D]. 南京: 南京农业大学, 2013.
SUN X E. Preliminary study of affect on growth, yield and tuber quality of Jerusalem artichoke (*Helianthus tuberosus* L.) of nitrogen and phosphorus and their interaction effect [D]. Nanjing: Nanjing Agricultural University, 2013.
- [19] 张虎. 主成分聚类分析法的案例教学方法[J]. 统计与决策, 2007, (20): 163-164.
ZHANG H. Case method method of principal component cluster analysis [J]. Statistics and Decision, 2007, (20): 163-164.
- [20] 吴海燕, 金荣德, 范作伟, 等. 基于主成分和聚类分析的黑土肥力质量评价[J]. 植物营养与肥料学报, 2018, 24(2): 325-334.
WU H Y, JIN R D, FAN Z W, et al. Assessment of fertility quality of black soil based on principal component and cluster analysis [J]. Journal of Plant Nutrition and Fertilizers, 2018, 24(2): 325-334.
- [21] 邬彤, 周涛, 袁淑君. 数据统计分析——SPSS (Windows 版) 原理及其应用[M]. 2版. 北京: 北京师范大学出版社, 2001.
WU T, ZHOU T, YUAN S J. Data statistical analysis-SPSS (Windows edition) principles and applications [M]. 2nd ed. Beijing: Beijing Normal University Press, 2001.
- [22] 朱靖蓉, 杨涛, 王斌, 等. 干旱区不同灌溉量下棉田土壤碱解氮剖面分布[J]. 新疆农业科学, 2011, 48(4): 696-701.
ZHU J R, YANG T, WANG B, et al. Sectional distribution of alkaline-hydrolyzable nitrogen of cotton field soil under different irrigation water supply in arid area [J]. Xinjiang Agricultural Sciences, 2011, 48(4): 696-701.
- [23] 董业雯. 不同灌溉量对风沙土葡萄园土壤矿物质元素淋洗规律的探究[D]. 银川: 宁夏大学, 2017.
DONG Y W. Studies on regulation of irrigation to leaching the mineral elements on aeolian sandy soil of vineyard [D]. Yinchuan: Ningxia University, 2017.
- [24] 尹志荣, 雷金银, 赵营, 等. 滴灌灌水量对枸杞土壤水分及养分迁移特征的影响[J]. 水土保持研究, 2021, 28(4): 62-69.
YIN Z R, LEI J Y, ZHAO Y, et al. Effects of drip irrigation amounts on characteristics of moisture and nutrient transfer in soil in the *Lycium barbarum* field [J]. Research of Soil and Water Conservation, 2021, 28(4): 62-69.
- [25] 高明, 张磊, 魏朝富, 等. 稻田长期垄作免耕对水稻产量及土壤肥力的影响研究[J]. 植物营养与肥料学报, 2004, 10(4): 343-348, 354.
GAO M, ZHANG L, WEI C F, et al. Study of the changes of the rice yield and soil fertility on the paddy field under long-term no-tillage and ridge culture conditions [J]. Journal of Plant Nutrition and Fertilizers, 2004, 10(4): 343-348, 354.
- [26] 曹军, 王冀川, 徐翠莲, 等. 不同滴灌供水对春小麦农艺性状和产量结构的影响[J]. 安徽农业科学, 2013, 41(12): 5240-5243.
CAO J, WANG J C, XU C L, et al. Effects of different drip irrigation water supplies on the agronomic characters and yield structure of spring wheat (*Triticum aestivum* Linn.) [J]. Journal of Anhui Agricultural Sciences, 2013, 41(12): 5240-5243.
- [27] 耿慧, 徐安凯, 栾博宇, 等. 不同灌水量对当年播种紫花苜蓿生长的影响[J]. 山东农业科学, 2012, 44(9): 51-53.
GENG H, XU A K, LUAN B Y, et al. Effects of different irrigation amount on growth of *Medicago sativa* L. in seeding year [J]. Shandong Agricultural Sciences, 2012, 44(9): 51-53.
- [28] 金建新, 何进勤, 黄建成, 等. 宁夏中部干旱带不同灌水量对马铃薯生长、产量和品质的影响[J]. 西南农业学报, 2020, 33(5): 935-940.
JIN J X, HE J Q, HUANG J C, et al. Effects of different irrigation quota on growth, yield and quality of potato in arid region of central Ningxia [J]. Southwest China Journal of Agricultural Sciences, 2020, 33(5): 935-940.
- [29] 王泽义, 张恒嘉, 王玉才, 等. 膜下滴灌调亏绿洲苜蓿农艺性状与产量的通径分析[J]. 水资源与水工程学报, 2020, 31(5): 248-254.
WANG Z Y, ZHANG H J, WANG Y C, et al. Path analysis of agronomic traits and yield of oasis *Isatis indigotica* with regulated deficit irrigation under mulched drip irrigation [J]. Journal of Water Resources and Water Engineering, 2020, 31(5): 248-254.
- [30] 周啸尘. 灌水量与追肥量对番茄产量和品质的影响[D]. 扬州: 扬州大学, 2014.
ZHOU X C. Effects of irrigation and top dressing amount on yield and fruit quality of tomato [D]. Yangzhou: Yangzhou University, 2014.
- [31] 曲嫣红, 宋柏权, 王孝纯, 等. 农业微生物制剂对垄作甜菜块根产量及品质的影响[J]. 中国糖料, 2018, 40(6): 47-49.
QU Y H, SONG B Q, WANG X C, et al. Effect of agricultural microbial ecological agents on root yield and quality of sugarbeet in ridge culture [J]. Sugar Crops of China, 2018, 40(6): 47-49.
- [32] GONG L, RAN Q Y, HE G X, et al. A soil quality assessment under different land use types in Keriya river basin, Southern Xinjiang, China [J]. Soil and Tillage Research, 2015, 146(Part B): 223-229.
- [33] GOVAERTS B, SAYRE K D, DECKERS J. A minimum data set for soil quality assessment of wheat and maize cropping in the highlands of Mexico [J]. Soil and Tillage Research, 2006, 87(2): 163-174.