

甘蔗种植模式对流域水文连通性的影响

明雪¹, 康振威¹, 黄智刚¹, 邓羽松²

(1.广西大学 农学院/广西农业环境与农产品安全重点实验室, 广西 南宁 530004; 2.广西大学 林学院, 广西 南宁 530004)

摘 要: [目的] 研究甘蔗种植模式(新植、宿根)与植被覆盖度的空间分布对流域水文连通性的影响, 为流域水文连通性研究及水土流失治理提供科学参考。[方法] 以 IC 指数(index of connectivity)为水文连通性指标, 基于 ArcGIS 以及无人机高分辨率影像数据, 分析那辣小流域水文连通性随甘蔗生长期变化的特征, 并利用主成分分析法探究水文连通性的关键影响因素。[结果] ①那辣小流域 IC 均值随甘蔗生长期变化在 $-2.07 \sim -2.87$, 苗期 IC 均值显著大于($p < 0.05$)分蘖期、伸长期和成熟期, 各子流域 IC 值随甘蔗生长期表现为先减小后增大和持续减小两种不同趋势, 且在空间上越接近道路网或河道 IC 值就越高。②新植甘蔗 IC 值在苗期与分蘖期显著大于宿根甘蔗($p < 0.05$), 在成熟期显著小于宿根甘蔗($p < 0.05$), 但在伸长期无显著差异。③苗期、分蘖期和成熟期水文连通性影响因素主要为种植模式、植被覆盖度和坡度, 且新植面积所占比例对水文连通性影响大于宿根面积所占比例。④新植甘蔗面积比例在苗期、分蘖期和成熟期显著影响了植被覆盖度, 且随着生长期推移, 其影响逐渐降低。甘蔗种植模式会通过影响植被覆盖度进而影响水文连通性。[结论] 那辣小流域水文连通性随甘蔗生长期有显著变化, 且受到种植模式和植被覆盖度的显著影响, 其中种植模式可以通过影响植被覆盖度进而影响水文连通性。

关键词: 水文连通性; 种植模式; 植被覆盖度; 主成分分析

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2022)06-0106-07

中图分类号: P333, S126

文献参数: 明雪, 康振威, 黄智刚, 等. 甘蔗种植模式对流域水文连通性的影响[J]. 水土保持通报, 2022, 42(6): 106-113. DOI: 10.13961/j.cnki.stbctb.20220701.001; Ming Xue, Kang Zhenwei, Huang Zhigang, et al. Effects of sugarcane planting patterns on hydrological connectivity of a watershed [J]. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2022, 42(6): 106-113.

Effects of Sugarcane Planting Patterns on Hydrological Connectivity of a Watershed

Ming Xue¹, Kang Zhenwei¹, Huang Zhigang¹, Deng Yusong²

(1. Agricultural College of Guangxi University/Guangxi Key Laboratory of Agro-environment, and Agro-product Safety, Nanning, Guangxi 530004, China; 2. Forestry College of Guangxi University, Nanning, Guangxi 530004, China)

Abstract: [Objective] The effects of the spatial distribution of sugarcane planting patterns (newly planted and perennial) and vegetation coverage on the hydrological connectivity of a watershed were determined in order to provide a scientific reference for hydrological connectivity research and soil erosion management of watersheds. [Methods] Using the index of connectivity (IC), the variation characteristics of hydrological connectivity with sugarcane growing period were analyzed based on ArcGIS and UAV high-resolution image data. Principal component analysis was used to explore the key influencing factors of hydrological connectivity. [Results] ① The mean IC in the Nala watershed changed from -2.07 to -2.87 with increasing sugarcane growth stage, and the mean IC in the seedling stage was significantly greater than in tillering, elongation stage, and ripening stages ($p < 0.05$). The IC value of each sub-watershed showed two different trends: initially decreasing and then increasing, and continuously decreasing during the growth period of sugarcane. Places that were closer to the road network or river channel had higher IC values. ② The IC value of newly

收稿日期: 2022-05-11

修回日期: 2022-06-10

资助项目: 广西科技重大专项“甘蔗农机农艺融合规模化生产技术示范”(桂科 AA17202005-1); 广西科技计划项目(桂科 ZY21195016); 广西科技计划项目(桂科 ZY20198007)

第一作者: 明雪(1997—), 女(汉族), 湖北省咸宁市人, 硕士研究生, 研究方向为土壤资源环境与地理信息系统技术。Email: mingxue0001@163.com。

通讯作者: 黄智刚(1971—), 男(壮族), 广西壮族自洽区德保县人, 博士, 副教授, 主要从事农业面源污染方面的研究。Email: hzg@gxu.edu.cn。

planted sugarcane was significantly greater than that of perennial sugarcane at the seedling and tillering stages ($p < 0.05$), and significantly lower than that of perennial sugarcane at the ripening stage ($p < 0.05$), but there was no significant difference at the elongation stage. ③ The main influencing factors of hydrological connectivity at the seedling, tillering, and ripening stages were planting mode, vegetation coverage, and slope, and the ratio of new planting area to hydrological connectivity was greater than that of perennial root area. ④ The area ratio of newly planted sugarcane significantly affected the vegetation coverage at the seedling, tillering, and ripening stages, and the effect gradually decreased with the passage of time. Sugarcane planting patterns affected hydrological connectivity by influencing vegetation coverage. [Conclusion] The hydrological connectivity of the Nala watershed changed significantly with sugarcane growth stage, and was significantly affected by planting patterns and vegetation coverage. Planting patterns can affect hydrological connectivity by influencing vegetation coverage.

Keywords: hydrological connectivity; planting patterns; vegetation coverage; principal component analysis

水文连通性(hydrological connectivity),也称“水文连通度或水文连接度”,指在水文循环中各环境要素间以水为媒介的物质、能量及生物的全部传输过程^[1],是描述由地表植被变化及土地利用变化引起的水文变化的关键指标^[2-3]。水文连通性受到气候、地质、地形、土壤、植被、土地利用等多种自然与人为因素综合作用。崔桢等^[4]研究表明,水文连通性的变化主要受围堤造田、水利工程建设等人类活动及降雨的影响。Cui 等^[5]基于遥感影像研究发现水文连通性随水体斑块的数量和空间分布而变化。王盛萍等^[6]基于人工降雨坡面试验指出水文连通性的发展受地表坡度和降雨强度的影响干扰。Sorriso-Valvo 等人^[7]发现植物残体覆盖可以增加表面粗糙度,阻碍坡面挟沙水流。也有研究表明植被覆盖格局显著改变了流域水文连通性^[8]。但目前还没有相关研究反映集约化蔗区的甘蔗种植模式如新植及宿根甘蔗在流域内的分配是如何影响水文连通性的;同时,由于遥感影像的限制,存在空间与时间尺度过大的问题。

甘蔗是一种可多年宿根栽培的经济作物,也是我国重要的制糖原料。甘蔗一般有新植和宿根两种植模式。新植指种植蔗种的当年甘蔗,宿根指新植后的 2~4 a 的连作甘蔗。新植甘蔗的裸露地表及深耕后形成的沟道有利于径流发展,宿根甘蔗地表覆盖蔗叶能够降低雨水冲击作用、阻碍径流发展,但长期宿根种植会导致连作障碍,影响作物产量和质量^[9],因此需要重新新植甘蔗。同时在生长过程中甘蔗会脱叶对地表形成二次覆盖,对径流产生新的影响。因此在一个生长周期内,甘蔗种植模式如何影响水文连通性以及水文连通性随着甘蔗生长的变化需要进一步研究。本研究基于无人机高分辨率影像,探究水文连通性随甘蔗生长期的变化规律,甘蔗种植模式及植被覆盖度对流域水文连通性的影响,以期为流域水文连通性研究及水土流失治理提供参考。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

研究区位于广西壮族自治区珠江流域左江那辣小流域(东经 $107^{\circ}39'29''$ — $107^{\circ}40'17''$,北纬 $22^{\circ}20'50''$ — $22^{\circ}20'36''$),流域面积为 1.29 km^2 。整个流域地形起伏较大,坡度为 0° ~ 55.6° ,平均坡度为 8.2° ,海拔在 111.8 ~ 195.7 m 。该地区属于湿润亚热带气候,年均气温 13.8 ~ 28.1°C ,年均降水量 $1\,400 \text{ mm}$,年降雨量的 80% 以上集中在 3—9 月。流域主要土壤类型为赤红壤,土壤容重 1.4 ~ 1.8 g/cm^3 。流域道路大多为未固化土路。该流域位于广西甘蔗生产的核心密集区,甘蔗种植比例面积最高可达 80%,主要集中在山坡上。甘蔗生长分为 4 个时期:苗期、分蘖期、伸长期和成熟期。一般苗期为 2—3 月,收获期为 12 至翌年 1 月。那辣小流域甘蔗种植模式分为新植甘蔗与宿根甘蔗(图 1)。新植指第一年甘蔗,前一年砍收后翻地并重新种植,部分农户会在翻地前将残叶焚烧或是打碎;宿根指第 2 a 或第 3 a 甘蔗,当年砍收后不翻地,新蔗发芽于上一年的甘蔗根部侧芽,农户不对地表残留甘蔗蔗叶进行处理。在 ArcGIS 中根据坡向以及分水岭将流域分为 18 个集水区(图 2),统计各子流域面积、新植甘蔗面积和流域面积比例、宿根甘蔗面积和流域面积比例、田块数量(表 1),并用于后续的主成分分析。

1.2 无人机原始影像数据采集与处理

在 2020 年的 3 月 11—12 日、6 月 14—18 日、8 月 11—15 日以及 11 月 11—12 日,使用无人机“大疆精灵 4RTK(DJoPhantom 4RTK)”采集流域航拍图。随后在室内使用无人机测绘软件 Pix4D mapper 4.4.9 对图像进行拼接,得到数字正射影像 DOM(digital orthophoto map)成果。同时基于 DOM 附加生成的等高线,结合高程点数据,在 ArcGIS 10.3 中进行内

插获取 DEM(digital elevation model, 数字高程模型)。使用研究区矢量图裁剪 DEM 与 DOM 得到研究区 DEM 与 DOM 栅格图。

在 ArcGIS 10.3 中对无人机 DOM 影像(地面分辨率 0.04 m)进行矢量化,将土地利用分为新植甘蔗地、宿根甘蔗地、道路,桉树地及河流(道)。

表 1 子流域基本信息统计

子流域编号	面积/km ²	田块数量	新植甘蔗面积/km ²	新植面积比例/%	宿根甘蔗面积/km ²	宿根面积比例/%
1	0.09	44	0.04	41.35	0.04	50.65
2	0.09	39	0.02	22.47	0.04	68.11
3	0.09	26	0.04	40.41	0.03	46.03
4	0.08	33	0.02	23.99	0.04	70.62
5	0.08	37	0.03	36.89	0.04	60.70
6	0.09	49	0.02	25.54	0.05	70.06
7	0.07	31	0.02	28.99	0.04	67.86
8	0.05	30	0.00	5.32	0.04	94.23
9	0.09	48	0.02	24.62	0.06	72.04
10	0.07	35	0.01	16.45	0.04	76.96
11	0.07	24	0.02	27.21	0.04	70.17
12	0.05	33	0.01	26.70	0.03	71.31
13	0.11	34	0.02	19.90	0.06	73.83
14	0.06	21	0.01	19.59	0.03	73.64
15	0.05	31	0.03	53.77	0.02	42.58
16	0.07	37	0.03	40.15	0.04	55.74
17	0.06	12	0.01	13.36	0.01	61.79
18	0.03	16	0.02	56.00	0.01	39.49

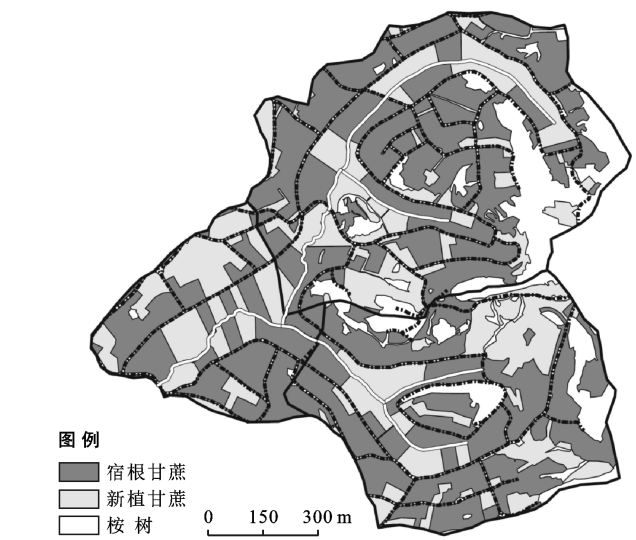


图 1 那辣流域土地利用及子流域划分

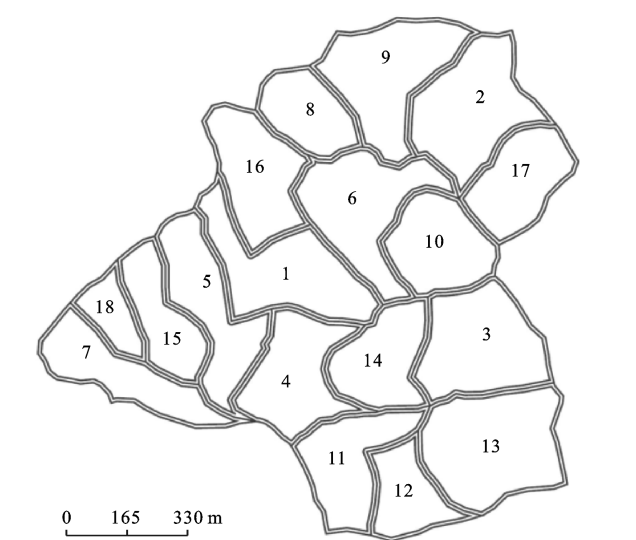


图 2 那辣流域集水区划分

1.3 水文连通性指数计算

本研究中使用水文连通性指数 IC 来计算那辣流域的水文连通性^[10],并根据流域甘蔗种植特点进行优化。对于栅格图中每一个像元,IC 值计算公式为:

$$IC_k = \lg\left(\frac{D_{up,k}}{D_{dn,k}}\right) = \lg\left(\frac{\bar{W}_k \bar{S}_k \sqrt{\bar{A}_k}}{\sum_{i=k,nk} \frac{d_i}{\omega_i S_i}}\right) \quad (1)$$

式中: D_{up} 是连通性的上坡组分,反映了上坡水向下运动的潜力; D_{dn} 是连通性的下坡组分,它表示水到达最近目标或汇水区必须走过的路径的长度;IC 取值范围为 $[-\infty, +\infty]$,随着连通性的增大,IC 之也随之增大; \bar{S} 是上坡集流区的平均坡度(m/m); \bar{A} 是上坡贡献面积(m²); d_i 是第*i*个单元沿着水流路径到汇点的距离(m); W_i 是第*i*个单元的权重(无量纲); S_i 是第*i*个单元的斜率梯度(m/m),下标*k*表

示流域中的每个单元有一个 IC 值,为了避免方程组的 0 和无穷小,将低于 0.005 的 S 取值为 0.005; \bar{W} 是上坡集流区的平均权重(无量纲),指由于土地利用和土壤表面特性而对径流和泥沙产生的阻抗。本研究使用通用土壤流失方程中的 C 因子为 W 赋值。试验中 C 因子的使用蔡崇法^[11]提出的公式计算,其值由以下公式得出:

$$\begin{cases} C=1 & (c<9.6\%) \\ C=0.650\ 8-0.343\ 6\lg c & (9.6\%<c<78.3\%) \\ C=0 & (c>78.3\%) \end{cases} \quad (2)$$

式中: C 最大为 1,表示土壤完全流失,最小为 0,表示不产生土壤流失。 c 为植被覆盖度(%),指植被(包括叶、茎、枝等)在地面上的垂直投影面积占统计区总面积的比例。目前多利用遥感影像计算植被覆盖度,其中较为实用的方法如归一化植被指数法(NDVI),通过对遥感影像红外波段与近红外波段反射值进行差值运算,进而得出植被覆盖度。但由于遥感影像分辨率的限制,植被指数只能近似估算植被覆盖度。消费级无人机的普及为高分辨率影像的获取提供了便利,促进了彩色植被指数的发展,如 ExG, ExR, GLI, Hue, CIVE, MEGI, NGRDI 等。本文选取 ExGR 指数^[12](excess green minus red index,过量绿减去过量红指数)来对植被覆盖度进行计算。

ExGR 值由以下公式给出:

$$\text{ExGR}=(2g-r-b)-(1.4r-g) \quad (3)$$

$$r=\frac{R}{R+G+B} \quad (4)$$

$$g=\frac{G}{R+G+B} \quad (5)$$

$$b=\frac{B}{R+G+B} \quad (6)$$

式中: R, G, B 分别为彩色影像 Red, Green, Blue 三波段的像元值; r, g, b 为归一化后的像元值。

因此,本研究植被覆盖度 c 的值由以下公式给出:

$$c=\frac{(\text{ExGR}-\text{ExGR}_{\text{soil}})}{(\text{ExGR}_{\text{veg}}-\text{ExGR}_{\text{soil}})} \quad (7)$$

式中: $\text{ExGR}_{\text{soil}}$ 为完全是裸土或无植被覆盖区域的 ExGR 值; ExGR_{veg} 则代表纯植被区域的 ExGR 值。本研究将 ExGR 值从小到大排序,把 5% 处的 ExGR 值认定为完全是裸土或无植被覆盖,95% 处的 ExGR 值认定为完全被植被所覆盖。

1.4 数据处理与分析

本文散点图及拟合在 Origin 2019b 中完成,数据整理与分析在 Excel 2019 和 IBM SPSS Statistics 25 中完成。分布图在 ArcGIS 10.3 中完成。

2 结果与分析

2.1 不同时期水文连通性分布与变化特征

甘蔗不同生长期的水文连通性值分布情况如图 3 所示,共评估了 4 个时期,分别为 3, 6, 8 月与 11 月,分别对应甘蔗的苗期、分蘖期、伸长期和成熟期。流域水文连通性随甘蔗生长期呈下降趋势。流域不同的区域有不同的连接潜力,越接近道路网或河道,水文连通性就越高,远离道路网或河道的位置通常具有较低的水文连通性。流域水文连通性均值随甘蔗生长期有所变化(表 2),在甘蔗苗期水文连通性变化在 $-7.68\sim 3.84$,均值为 -2.07 ;甘蔗分蘖期水文连通性范围为 $-9.99\sim 4.43$,其均值为 -2.68 ;伸长期水文连通性范围为 $-9.99\sim 4.61$,均值为 -2.87 ;成熟期水文连通性变化在 $-9.53\sim 4.61$,均值为 -2.86 ;成熟期水文连通性与前一时期相比有所增大,而其他时期相较前一时期水文连通性均有所减小。从子流域来看(表 2),子流域 1, 6—11, 15, 17, 18 的水文连通性表现为减小趋势;子流域 3—5, 12—15, 17 表现为先减小(苗期、分蘖期、伸长期)后增加(成熟期)。

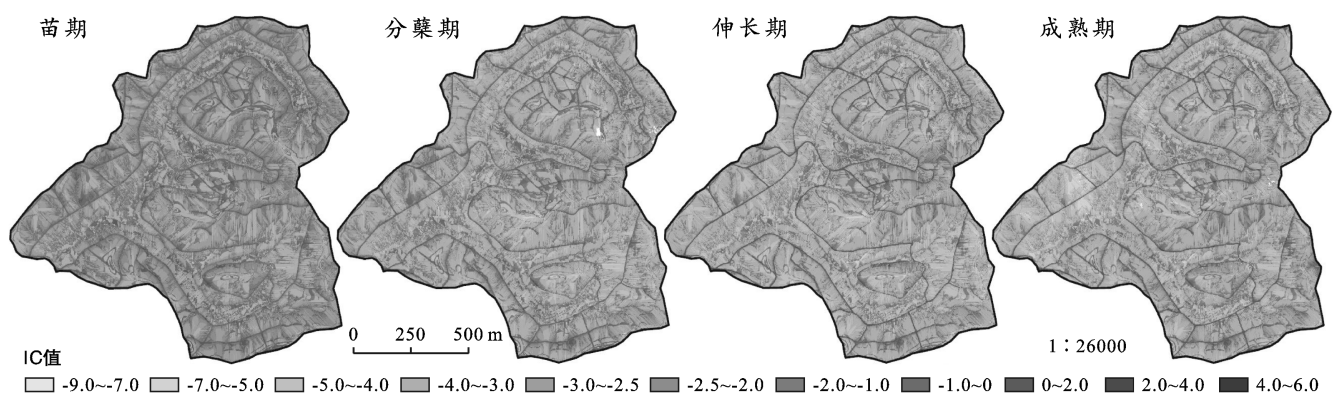


图 3 那辣小流域 IC 值时空分布

2.2 不同种植模式下的水文连通性变化特征

如图 4 所示,不同种植模式在不同时期分别对应不同水文连通性。在苗期和分蘖期,新植甘蔗的水文连通性均显著大于宿根甘蔗($p<0.05$);伸长期新植甘蔗水文连通性大于宿根甘蔗,但无显著差异($p>0.05$);成熟期新植甘蔗的水文连通性显著小于宿根甘蔗($p<0.05$)。

表 2 那辣小流域各子流域不同甘蔗生长期 IC 均值				
子流域 编号	IC 均值			
	苗期	分蘖期	伸长期	成熟期
1	−1.84	−2.68	−2.86	−3.06
2	−1.96	−2.81	−2.83	−2.71
3	−2.19	−2.67	−3.07	−2.79
4	−2.10	−2.67	−3.04	−2.80
5	−1.97	−2.64	−2.98	−3.19
6	−2.03	−2.55	−2.66	−2.87
7	−1.97	−2.66	−2.94	−3.04
8	−2.06	−2.86	−2.91	−2.94
9	−2.00	−2.70	−2.80	−2.82
10	−2.08	−2.58	−2.50	−2.68
11	−2.17	−2.67	−2.97	−2.78
12	−2.07	−2.45	−2.54	−2.50
13	−2.09	−2.81	−2.99	−2.73
14	−2.10	−2.89	−2.96	−2.70
15	−1.90	−2.55	−2.92	−3.20
16	−2.00	−2.63	−3.07	−2.99
17	−2.08	−2.60	−2.57	−2.78
18	−1.79	−2.51	−2.97	−3.31
合计	−2.07	−2.68	−2.87	−2.86

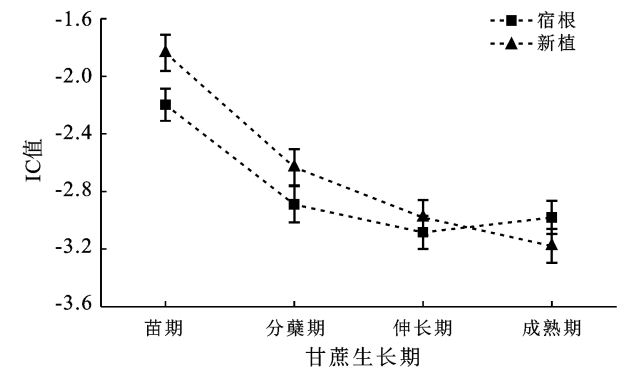


图 4 那辣小流域不同种植模式下 IC 均值变化曲线

2.3 种植模式与植被覆盖度的关系

表 3 展示了不同甘蔗生长期新植面积比例、宿根面积比例与植被覆盖度的关系。新植面积比例在苗期、分蘖期均与植被覆盖度呈显著负相关,表明随着新植面积增加,流域平均植被覆盖度也在降低;伸长期新植面积比例与植被覆盖度无显著相关关系,但在成熟期宿根面积比例与植被覆盖度表现为显著负相关关系($p<0.01$)。

成熟期新植面积比例与植被覆盖度无显著相关关系,成熟期新植面积比例与植被覆盖度表现为显著正相关关系;而宿根面积比例在苗期、分蘖期及伸长期均与植被覆盖度无显著相关关系,但在成熟期宿根面积比例与植被覆盖度表现为显著负相关关系($p<0.01$)。

表 3 不同甘蔗生长期新植面积比例、宿根面积比例与植被覆盖度的关系

项 目	植被覆盖度			
	苗 期	分蘖期	伸长期	成熟期
新植面积比例	−0.633 **	−0.560 *	−0.071	0.542 *
宿根面积比例	0.294	0.309	−0.045	−0.516 *

注: ** 表示在 0.01 水平下差异显著; * 表示在 0.05 水平下差异显著。

2.4 水文连通性的关键影响因素

姚安坤^[3]的研究结果表明,其研究区坡度、表面糙率与水文连通性有显著线性相关关系;贺怡^[13]研究发现道路长度、密度和互花米草群落面积、密度与水文连通性指数呈显著线性相关关系;本研究分别将种植模式、植被覆盖度与水文连通性进行线性拟合(图 5)。结果表明,新植甘蔗面积比例与水文连通性在苗期及分蘖期有显著正相关关系($p<0.05$),成熟期为显著负相关关系,其 R^2 值分别为 0.31, 0.20 和 0.43,但在伸长期二者无显著相关性($p>0.05$);宿根甘蔗面积比例与水文连通性在苗期及分蘖期有显著负相关关系($p<0.05$),成熟期为显著正相关关系, R^2 值分别为 0.20, 0.18 和 0.29,但在伸长期二者无显著相关性($p>0.05$),新植、宿根对水文连通性的影响在不同时期呈现相反趋势,且新植对水文连通性的影响大于宿根的影响;植被覆盖度与水文连通性在苗期、分蘖期、伸长期及成熟期均表现为显著负相关关系($p<0.05$)(图 6), R^2 值分别为 0.22, 0.41, 0.33 和 0.72,即随着植被覆盖度的增加,水文连通性在减小。

考虑到植被覆盖度与种植模式间有显著相关关系,因此对新植面积比例、宿根面积比例、植被覆盖度、坡度 4 个影响因素进行主成分分析。分析结果(表 4)展示了水文连通性影响因素主要成分的载荷。3 个时期均提取了一个主成分:在苗期,主成分 1 的特征值为 2.77,所解释的方差变异在 55.33%;在分蘖期,主成分 1 的特征值为 2.68,所解释的方差变异在 53.69%;在成熟期,主成分 1 的特征值为 2.74,所解释的方差变异在 54.88%。

在对各影响因素权重归一化后,3 个时期各影响因素权重排序均为:新植面积比例>宿根面积比例>植被覆盖度>坡度。

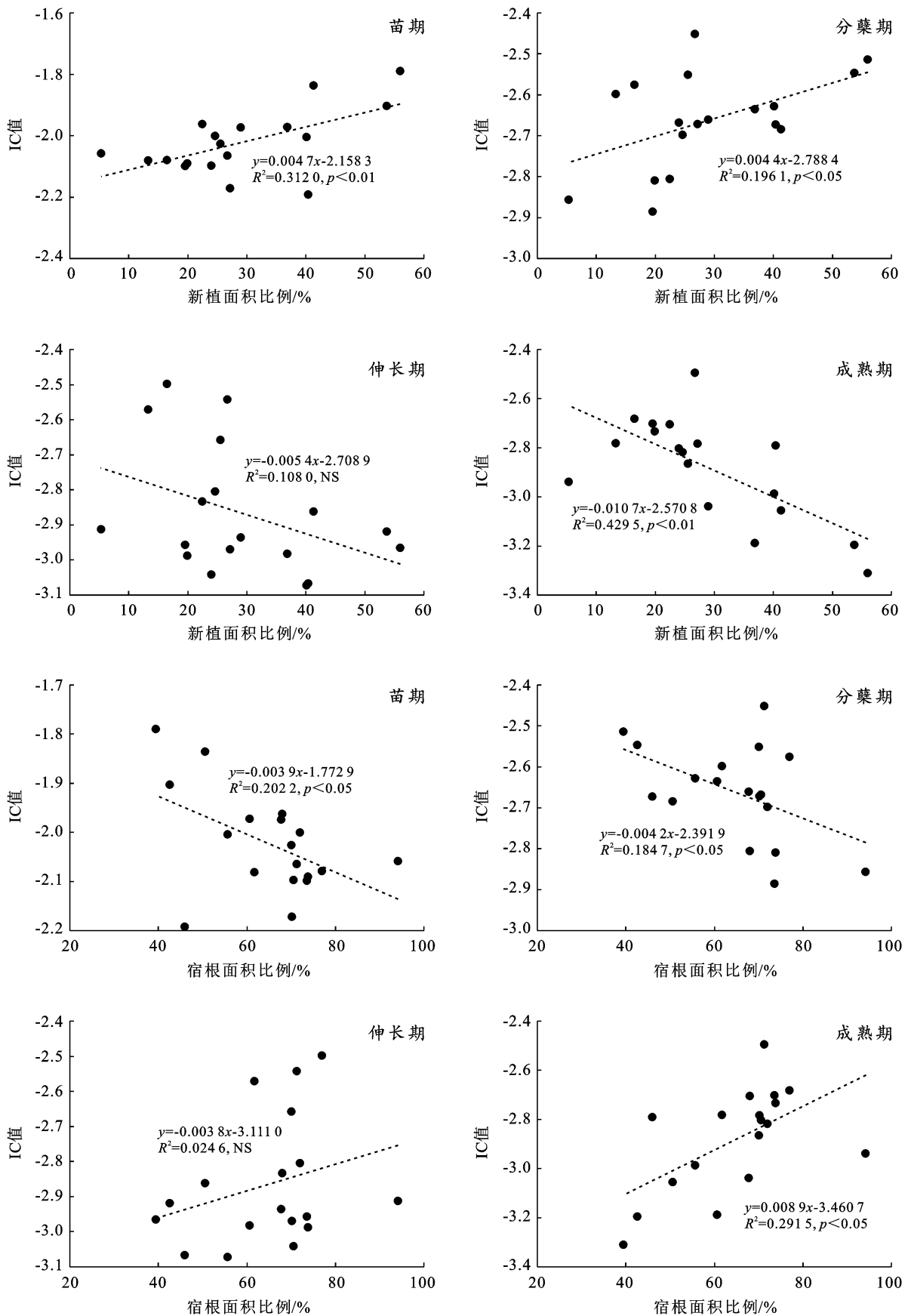


图 5 不同种植模式在不同甘蔗生长期与 IC 的关系

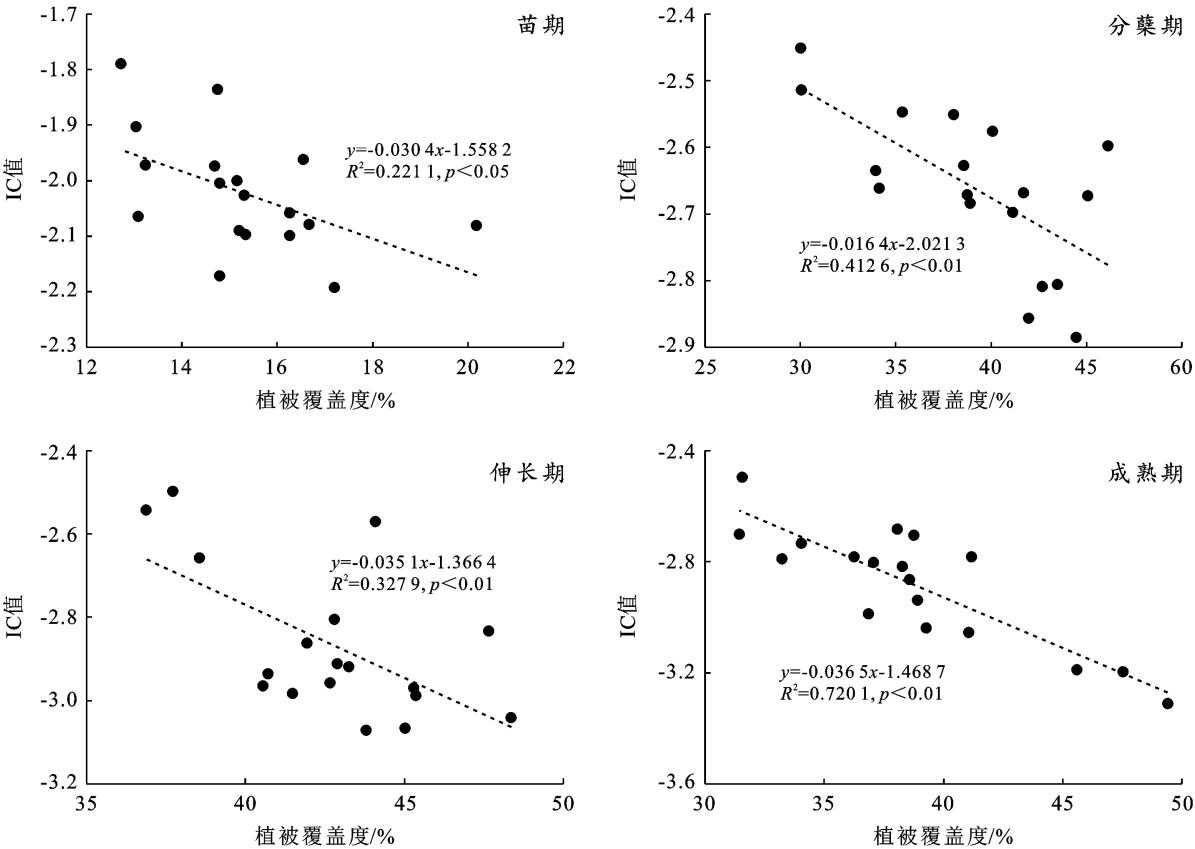


图 6 植被覆盖度在不同甘蔗生长期与 IC 的关系

影响因素	苗 期	分蘖期	成熟期
	主成分 1	主成分 1	主成分 1
新植面积比例 $X_1/\%$	<u>-0.953</u>	<u>-0.951</u>	<u>0.943</u>
宿根面积比例 $X_2/\%$	<u>0.783</u>	<u>0.811</u>	<u>-0.875</u>
植被覆盖度 $X_3/\%$	<u>0.783</u>	<u>0.734</u>	<u>0.754</u>
坡度 $X_4/^\circ$	<u>0.734</u>	<u>0.707</u>	<u>-0.646</u>
特征值	2.766	2.684	2.744
方差/ $\%$	55.330	53.685	54.875
累计方差/ $\%$	55.330	53.685	54.875

注:加下划线数据对应于负荷大于 0.4 的影响因素,在主成分分析中作为关键影响因素保留在对应主成分中。

3 讨论

水文连通性指数 IC 综合上坡“源”、必须经过的路径以及下坡“汇”,在考虑景观格局影响的同时,融入了径流泥沙运移过程的影响,能够在一定程度上表征流域内径流、泥沙输移的难易程度。IC 值表示的是流域中某个点径流泥沙输移的可能性,值的大小不仅仅受到点处地表特征的影响,还与点在流域中所处的位置有关,在地表特征相同的情况下,越靠近“汇”或出口的点可能具有更高的水文连通性,相反离“汇”或出口越远水文连通性就会越低^[14]。研究中发现越接近道路网或河道,水文连通性就越高,远离道路网

或河道的位置通常具有较低的水文连通性,这与刘时诚^[15]的研究结果一致;随着甘蔗生长期的变化,水文连通性表现为先减小后增加,这是因为随着甘蔗生长,甘蔗冠层的增密使得降雨落地前得到缓冲,同时甘蔗根系密度的增加使得土壤抗侵蚀能力得到增强^[16],以及甘蔗茎秆增粗增密,对径流起到阻碍作用,降低了水文连通性,同时减少侵蚀。而在成熟期甘蔗叶片干枯萎缩,植被覆盖度降低,水文连通性有所增加,新植甘蔗的水文连通性因此也会小于宿根甘蔗。结果显示部分子流域的水文连通性在成熟期出现增加的现象,这可能是因为宿根甘蔗在上一年砍收时间较新植甘蔗早,成熟期宿根甘蔗叶片枯萎导致植被覆盖度降低,造成了水文连通性的增加。

大量甘蔗地用新植甘蔗代替第 2 a 或第 3 a 甘蔗并在重新种植前犁地,在土地管理措施不当以及大暴雨的情况下,可能会造成严重的土壤侵蚀^[17]。在本研究中,苗期与分蘖期新植甘蔗水文连通性显著大于宿根甘蔗,这是由于新植甘蔗在重新犁地时,挖出了深度在 0.2 m 左右,宽度在 1 m 左右的深沟,是天然径流路径,因此水文连通性较大,而且垄土松散,为侵蚀提供了有利条件。而宿根甘蔗地表覆盖有甘蔗残体,能够起到一定的阻碍水流的作用。随着甘蔗生长

新植甘蔗与宿根甘蔗的长势及植被覆盖度逐渐相同,而甘蔗植被覆盖度以及根密度对降低地表水流的输送能力起着关键作用^[18]。影响水文连通性的因素包括气候、地形、土壤、植被以及人类活动等,本研究主要考虑了甘蔗种植模式、植被覆盖度以及坡度。

总体来说,流域水文连通性在甘蔗生长前期主要受到植被覆盖度及种植模式的影响,后期主要受到植被覆盖度影响。新植、宿根甘蔗在伸长期与水文连通性关系不显著,这是因为这两个时期不同种植模式的植被覆盖度趋近一致;在生长后期,植被覆盖度对水文连通性的影响可能掩盖了坡度的影响。新植甘蔗和宿根甘蔗一方面通过其种植模式特征对水文连通性产生影响,另一方面通过影响植被覆盖度进而影响流域水文连通性。主成分分析结果表明新植甘蔗对水文连通性影响大于宿根甘蔗,因此有必要控制流域新植面积并与甘蔗产量、质量取得最佳平衡。

4 结 论

(1) 甘蔗种植与生长影响了那辣流域水文连通性。随着甘蔗生长期的延伸,水文连通性表现为先减小后增大,苗期显著高于分蘖期、伸长期及成熟期($p<0.05$)。同时受到宿根甘蔗砍收时间影响,子流域的水文连通性表现为先下降后上升以及持续下降两种不同的趋势。

(2) 种植模式与植被覆盖度是流域水文连通性变化的主要影响因素。新植甘蔗水文连通性比宿根甘蔗水文连通性高 6%~24%。在成熟期宿根甘蔗的水文连通性小于新植甘蔗。新植甘蔗面积比例与宿根甘蔗面积比例在苗期、分蘖期及成熟期均对水文连通性有显著影响($p<0.05$),其中新植甘蔗对水文连通性影响大于宿根甘蔗。植被覆盖度在 4 个时期与水文连通性均表现为显著负相关关系($p<0.05$)。

(3) 甘蔗种植模式在苗期、分蘖期及成熟期对植被覆盖度有显著影响($p<0.01$)。甘蔗种植模式通过影响植被覆盖度对水文连通性造成影响。

[参 考 文 献]

[1] Pringle C M. Hydrologic connectivity and the management of biological reserves: A global perspective [J]. Ecological Applications, 2001,11(4):981-998.

[2] 袁亚男. 听水河流域土地利用与植被变化对水文连通性影响研究[D]. 北京: 华北电力大学(北京), 2019.

[3] 姚安坤. 基于降雨模拟试验的坡面水文连通性研究[D]. 北京: 北京林业大学, 2013.

[4] 崔桢, 沈红, 章光新. 3 个时期莫莫格国家级自然保护区景观格局和湿地水文连通性变化及其驱动因素分析

[J]. 湿地科学, 2016, 14(6): 866-873.

[5] Cui Yuan, Xiao Rong, Zhang Mingxiang, et al. Hydrological connectivity dynamics and conservation priorities for surface-water patches in the Yellow River Delta National Nature Reserve, China [J]. Ecohydrology & Hydrobiology, 2020, 20(4): 525-536.

[6] 王盛萍, 姚安坤, 赵小婵. 基于人工降雨模拟试验的坡面水文连通性[J]. 水科学进展, 2014, 25(4): 526-533.

[7] Sorriso-Valvo M, Bryan R B, Yair A, et al. Impact of afforestation on hydrological response and sediment production in a small Calabrian catchment [J]. Catena, 1995, 25(1/2/3/4): 89-104.

[8] Zhao Liang, Liu Yu, Luo Yong. Assessing hydrological connectivity mitigated by reservoirs, vegetation cover, and climate in Yan River watershed on the Loess Plateau, China: The network approach [J]. Water, 2020, 12(6): 1742.

[9] 孙丽娅, 上野正实, 永田雅辉. 不同栽培法和收割期对甘蔗单产及含糖量影响的分析[J]. 中国生态农业学报, 2009, 17(5): 992-996.

[10] Borselli L, Cassi P, Torri D. Prolegomena to sediment and flow connectivity in the landscape: A GIS and field numerical assessment [J]. Catena, 2008, 75(3): 268-277.

[11] 蔡崇法, 丁树文, 史志华, 等. 应用 USLE 模型与地理信息系统 IDRISI 预测小流域土壤侵蚀量的研究[J]. 水土保持学报, 2000, 14(2): 19-24.

[12] Meyer G E, Neto J C. Verification of color vegetation indices for automated crop imaging applications [J]. Computers and Electronics in Agriculture, 2008, 63(2): 282-293.

[13] 贺怡. 黄河口湿地水文连通关键受阻因素辨识及其阻隔效应研究[D]. 山东 烟台: 鲁东大学, 2021.

[14] Bracken L J, Wainwright J, Ali G A, et al. Concepts of hydrological connectivity: Research approaches, pathways and future agendas [J]. Earth-Science Reviews, 2013, 119: 17-34.

[15] 刘时城. 延河流域不同尺度水文连通性研究[D]. 陕西 杨凌: 西北农林科技大学, 2017.

[16] Li Yong, Mo Yaqi, Are K S, et al. Sugarcane planting patterns control ephemeral gully erosion and associated nutrient losses: Evidence from hillslope observation [J]. Agriculture, Ecosystems and Environment, 2021, 309: 107289.

[17] Mu Hongli, Yu Xianju, Fu Suhua, et al. Effect of stem basal cover on the sediment transport capacity of overland flows [J]. Geoderma, 2019, 337: 384-393.

[18] Mu Hongli, Yu Xianju, Fu Suhua, et al. Effect of stem basal cover on the sediment transport capacity of overland flows [J]. Geoderma, 2019, 337: 384-393.