

膜下滴灌调亏绿洲菘蓝农艺性状与产量的通径分析

王泽义, 张恒嘉, 王玉才, 张万恒, 高佳

(甘肃农业大学 水利水电工程学院, 甘肃 兰州 730070)

摘要: 为了研究膜下滴灌调亏菘蓝主要农艺性状对药材产量的影响,对菘蓝在营养生长期和肉质根生长期实施亏缺灌溉处理,测定了菘蓝的10个主要农艺性状。采用相关、回归、通径分析等统计学方法,分析了各农艺性状间的相关关系。结果表明:亏水处理对菘蓝的主要农艺性状存在一定程度的影响,变异系数 CV 值在5.45%~17.19%之间,菘蓝叶和根产量的 CV 值分别为13.14%、16.28%;菘蓝叶和根产量同除根冠比外的其他农艺性状间的相关系数为正,均达显著水平($P < 0.05$);菘蓝叶和根产量分别与农艺性状之间建立回归模型,经统计学检验均为极显著水平($P < 0.01$),其决定系数为0.996、0.971;通径分析模型得出株高(0.498)、主根长(0.630)是影响叶产量的主要农艺性状,而影响根产量的关键农艺性状为叶长(0.698)。因此,在菘蓝的栽培过程中进行亏水处理,在干旱胁迫下协调植株各部分的生物量分配,增加菘蓝植株的株高、叶长和主根长,有利于产量的形成。

关键词: 菘蓝; 调亏灌溉; 农艺性状; 产量; 通径分析

中图分类号: S275.6

文献标识码: A

文章编号: 1672-643X(2020)05-0248-07

Path analysis of agronomic traits and yield of oasis *isatis indigotica* with regulated deficit irrigation under mulched drip irrigation

WANG Zeyi, ZHANG Hengjia, WANG Yucai, ZHANG Wanheng, GAO Jia

(College of Water Conservancy and Hydropower Engineering, Gansu Agricultural University, Lanzhou 730070, China;)

Abstract: In order to study the effects of the main agronomic traits of *isatis indigotica* on the yield of medicinal materials under mulched drip irrigation based on water deficit (WD), the WD treatment of *isatis indigotica* in the vegetative growth and fleshy root growth period was carried out, and ten main agronomic traits of *isatis indigotica* were measured and calculated. Correlation analysis, regression analysis and path analysis were used to analyze the correlation between various agronomic traits. The results showed that the WD treatment had a certain degree of influence on the main agronomic traits of *isatis indigotica*, with a coefficient of variation (CV) of 5.45% ~ 17.19%, and the CV values of folium yield and radix yield were 13.14% and 16.28%, respectively. There was a significant positive correlation ($P < 0.05$) between the coefficient of folium and radix yields and the remaining agronomic traits except for the root-to-shoot ratio. A regression model between the folium and radix yields and agronomic traits was established. With the statistical tests, it was found that both of them reached extremely significant levels ($P < 0.01$), and the coefficients of determination were 0.996 and 0.971, respectively. Through the path analysis, the main agronomic traits affecting the yield of folium were plant height (0.498) and main root length (0.630), the key agronomic traits affecting the yield of radix were leaf length (0.698). Therefore, in the cultivation process of *isatis indigotica*, the WD treatment can improve the allocation of biomass in each part of the plant under drought stress, increase the plant height, leaf length and main root length, which ultimately contributes to the formation of yield.

Key words: *isatis indigotica*; regulated deficit irrigation; agronomic trait; yield; path analysis

收稿日期: 2019-02-23; 修回日期: 2020-03-27

基金项目: 甘肃省重点研发计划项目(18YF1NA073)

作者简介: 王泽义(1994-),男,甘肃武威人,博士研究生,主要从事高效节水技术与灌溉理论研究。

通讯作者: 张恒嘉(1974-),男,甘肃天水人,博士,教授,博士生导师,主要从事流域水资源、农田生态水文过程及作物水分高效利用与节水机理研究。

1 研究背景

近年来,人们的健康理念已发生巨大的变化,从以往的重治疗逐渐转变为通过积极预防和保健来维持健康。这些变化为具有这方面特点和优势的中医药学的发展带来了机遇。同时与西药相比,中药副作用较小也为其提供了广阔的市场空间。苕蓝(*Isatis indigotica* Fortune)作为传统的中药材,在大部分的感冒药中均有配伍^[1],其根叶皆可入药^[2-3],具有多种药用功效^[4-6],是当下市场潜力较高、人工种植面积较大的传统中药材之一。

苕蓝耐寒怕涝,对水分的反应较为敏感,在生长过程中灌水的时间和数量对其生长有明显影响。调亏灌溉技术是以节水和损失最小为目标的灌溉方式^[7]。国内外学者对粮食作物^[8-10]和经济作物^[11-13]的研究结论显示,该技术能够在作物不显著减产的前提下省水调质。在药用植物栽培方面虽亦有研究,但大多集中在药用活性成分方面^[14-15]。通径分析是通径系数分析的简称,是由赖特(Sewall Wright)于20世纪初期首先提出,后经各领域学者不断修正,最终形成的一种统计学方法。作物相关性状间的因果关系可通过该模型得以揭示,尤其是各性状对产量的影响,且该影响的大小能被直观、精确地反映。研究表明,对产量影响因子的通径分析,不仅可以显示各因子间的相关关系,而且还能够将相关系数分解为直接和间接通径系数,体现出产量受各因子的直接或间接影响程度^[16-17]。部分学者利用该方法对苕蓝进行了相关研究:王恩军等^[16]用18份国内苕蓝的种质资源作为试材,探究主要农艺性状之间的关系,发现叶片数、叶鲜重、根鲜重和侧根数为不同种质苕蓝叶产量形成的决定性因子,而根长和根鲜重为苕蓝根产量形成的决定性因子;郭巧生等^[18]以甘肃陇西、安徽亳州等13个地区的苕蓝为试材,结合相关及通径分析方法分析表明,苕蓝育种时应选取叶片外形长且窄的株系,此外还要考虑其叶片数与根长;郭庆海^[19]通过对12个不同栽培居群苕蓝和3个变异类型进行相关分析后认为,苕蓝获得高产的培育核心是协调株高和茎粗并提高叶面积。由此可见,前人的研究主要集中于不同种质的苕蓝形态学性状与产量关系的统计分析,而有关调亏苕蓝农艺性状与其产量间的相关性研究鲜有报道。本试验采用膜下滴灌技术,设置调亏灌溉苕蓝大田试验,借助通径分析方法探讨了膜下滴灌调亏苕蓝农艺性状因子对药材产量的影响,以期对苕

蓝种植过程中水分的合理调控提供一些理论指导。

2 材料与方法

2.1 试验区概况

本试验设置在甘肃省张掖市民乐县益民灌溉试验站(100°43'E,38°39'N,海拔约2 000 m),试验区极端温度的最高和最低值分别为37℃和-33℃,年气温均值约6.0℃,无霜期为109~174 d,多年平均日照时数约 3×10^3 h,多年平均降雨量约200 mm,蒸发量为1 680~2 270 mm;田间土壤为中性(pH=7.20)轻质壤土,容积密度为1.46 g/cm³,其最大持水量约为24%。

2.2 试验设计

本试验开展于2018年5-10月间,采用平作全膜覆盖栽培种植,供试用种选用上一年度优质苕蓝种子,种子纯度为96%,于5月9日播种,10月12日铲叶后挖根。用种量为35 kg/hm²,种植密度为 80×10^4 株/hm²。播前1周机械深翻20~30 cm,同时施入基肥(硫酸钾复合肥)4 500~6 000 kg/hm²;施肥后整平土地并铺设滴灌带(间距60 cm),滴水器的流量和间距分别为2.0 L/h和30 cm;之后覆盖无色塑料地膜(宽120 cm,厚0.008 mm);3~5 d后人工用穴播盘在每条滴灌管两侧双行进行条播(株距6~8 cm,行距10~15 cm),种植小区面积为10 m×4 m=40 m²。

根据《灌溉试验规范》(SL 13-2015)中作物生长期划分标准,结合当地苕蓝实际生长情况,把全生育期分为苗期、营养生长期、肉质根生长期、肉质根成熟期。在生育期内每隔5~7 d,用烘干法测1次苕蓝各小区膜下0~80 cm土层的含水率(即0~10 cm采样1次,20~80 cm深度每间隔20 cm采样1次,测算其土壤含水率),并以0~60 cm土壤含水率的平均值作为计算灌水量的依照,当小区实测含水率值低于或等于设计下限值时,立即实施水表计量灌水。本试验为单因素随机区组试验,根据苕蓝不同的控水阶段和程度,F0为充分供水处理,F1~F9为不同的调亏处理,每个处理重复3次。各试验处理不同生长期的土壤设计含水率详见表1。

2.3 测定项目

苕蓝生育期的肉质根成熟期初,在各试验处理小区挑选生长状况相近的15株苕蓝定苗,待收获时,提前将这15株收回试验室,洗后晾干,测算其株高(x_1)、叶片数(x_2)、叶长(x_3)、叶宽(x_4)、叶片厚度(x_5)、侧根数(x_6)、主根长(x_7)、主根直径(x_8)、

根冠比(x_9)、叶面积指数(x_{10})、菰蓝单株叶产量(Y_1)、菰蓝单株根产量(Y_2),取均值作为最终结果。

2.4 数据处理

用 SPSS20.0 和 Microsoft Excel 2007 分别进行相关性分析与数据处理并制表。

3 结果与分析

3.1 膜下滴灌调亏灌溉菰蓝农艺性状的变异特征

表 2 为膜下滴灌调亏灌溉菰蓝各项农艺性状的统计分析。由表 2 可看出,调亏菰蓝的农艺性状指标变化幅度较小。单个指标的变异系数(CV)从小到大依次为根冠比、主根直径、株高、叶宽、叶长、主根长、叶产量、叶片数、侧根数、叶片厚度、根产量、叶面积指数,各项农艺性状的 CV 值在 5.45% ~ 17.19% 之间,菰蓝叶和菰蓝根产量的 CV 值分别为 13.14%、16.28%。表明在菰蓝不同生育阶段亏水

处理对药材产量存在一定程度的影响。

表 1 各试验处理不同生育期的土壤设计含水率 %

处理	苗期	营养生长期	肉质根生长期	肉质根成熟期
F0	75 ~ 85	75 ~ 85	75 ~ 85	75 ~ 85
F1	75 ~ 85	65 ~ 75	75 ~ 85	75 ~ 85
F2	75 ~ 85	55 ~ 65	75 ~ 85	75 ~ 85
F3	75 ~ 85	45 ~ 55	75 ~ 85	75 ~ 85
F4	75 ~ 85	65 ~ 75	65 ~ 75	75 ~ 85
F5	75 ~ 85	65 ~ 75	55 ~ 65	75 ~ 85
F6	75 ~ 85	55 ~ 65	65 ~ 75	75 ~ 85
F7	75 ~ 85	55 ~ 65	55 ~ 65	75 ~ 85
F8	75 ~ 85	45 ~ 55	65 ~ 75	75 ~ 85
F9	75 ~ 85	45 ~ 55	55 ~ 65	75 ~ 85

注:表中土壤含水率数值为占田间持水量的百分比,即控水区间。

表 2 膜下滴灌调亏灌溉菰蓝农艺性状表现

项目	x_1 /cm	x_2	x_3 /cm	x_4 /cm	x_5 /mm	x_6	x_7 /cm	x_8 /cm	x_9	x_{10}	Y_1 /g	Y_2 /g
最大值	29.58	36.00	36.40	12.09	1.30	10.70	23.25	1.66	1.02	1.92	14.02	13.74
最小值	22.00	24.00	24.98	8.24	0.83	7.30	16.66	1.31	0.86	1.15	9.68	8.43
全距	7.58	12.00	11.42	3.85	0.47	3.40	6.59	0.35	0.16	0.77	4.34	5.31
平均值	26.00	29.90	31.59	10.21	1.04	9.02	20.44	1.49	0.93	1.51	12.09	11.24
标准差	2.70	4.20	3.80	1.14	0.16	1.32	2.47	0.13	0.05	0.26	1.62	1.83
变异系数 CV /%	10.39	14.05	12.03	11.19	15.25	14.64	12.09	8.59	5.45	17.19	13.41	16.28

3.2 膜下滴灌调亏灌溉菰蓝单项农艺性状间的相关性分析

表 3 为菰蓝各项农艺性状间的相关性分析结果。由表 3 可知,菰蓝单株叶产量与其株高(0.961**)、叶片数(0.955**)、叶长(0.930**)、叶宽(0.952**)、叶片厚度(0.973**)、侧根数(0.910**)、主根长(0.987**)、主根直径(0.954**)、叶面积指数(0.773**)均呈极显著正相关,与根冠比相关但未达到显著水平。菰蓝单株根产量与其株高(0.889**)、叶片数(0.825**)、叶长(0.839**)、叶宽(0.833**)、叶片厚度(0.789**)、侧根数(0.771**)、主根长(0.765**)、主根直径(0.789**)、叶面积指数(0.763**)均呈极显著正相关,同样与根冠比相关(0.438),但未达到显著水平。表明在亏水条件下,植株高、叶片数多、叶长和叶宽大、叶片厚、侧根数多、根粗及主根长均对菰蓝高产的形成有利。

某一性状对作物产量的影响大小,若仅以产量

与各性状之间的简单相关系数来确定,性状本身彼此的影响将容易被忽视,从而其内部规律较难在本质上得以反馈。所以,须依靠通径分析来进一步探究各性状对作物产量的作用^[16-20]。

3.3 膜下滴灌调亏灌溉菰蓝产量和农艺性状的通径分析

3.3.1 正态性检验 表 4 为因变量(即菰蓝叶和根产量)的正态性检验结果。由表 4 可以看出,夏皮罗-威尔克检验法得出的菰蓝叶产量 Y_1 和根产量 Y_2 的统计量分别为 0.901、0.931, P 值均大于 0.05,其分布满足正态性要求。故调亏菰蓝叶和根产量与其农艺性状间关系可以应用逐步回归分析^[21]。

3.3.2 直接通径系数 表 5 为菰蓝产量与农艺性状之间构建的 3 种回归模型结果。由表 5 可看出,以菰蓝叶产量(Y_1)和根产量(Y_2)为因变量,将自变量 $x_1 \sim x_{10}$ 逐步代入回归方程中,方程的相关系数(R)和决策系数(R^2)随自变量 x 的引入而变大,这反映出农艺性状对菰蓝叶、根产量的作用在增大。表

5 中苕蓝叶和根产量模型 3 的决策系数 R^2 分别为 0.996、0.971,则剩余因子($e = \sqrt{1 - R^2}$) 分别为 $e_1 = 0.063$ 、 $e_2 = 0.170$,两个结果均相对较小,表明对因变量有影响作用的自变量考虑较全^[16,22-24],故亏水条件下苕蓝叶产量和苕蓝根产量与各因子的线性回归方程分别如下:

$$Y_1 = 0.185x_1 + 1.033x_7 - 11.343x_8 + 3.081 \quad (1)$$
$$Y_2 = 1.306x_1 + 0.368x_3 - 1.340x_7 - 6.964 \quad (2)$$

表 6 为相关系数分解得到的苕蓝叶和根产量的直接通径系数。由表 6 可知,苕蓝叶产量中 x_1 、 x_7 、 x_8 以及苕蓝根产量中 x_1 、 x_3 、 x_7 的 P 值均小于 0.05,即因子与响应变量间存在显著差异,有统计学意义。因此,膜下滴灌调亏苕蓝的 10 个农艺性状中,株高、主根长、主根直径是影响苕蓝叶产量的关键性状,而影响苕蓝根产量的则为株高、叶长、主根长。具体的影响大小,需对其相关系数进行深入分解。

表 3 膜下滴灌调亏灌溉苕蓝单项农艺性状间相关分析

性状	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5	x_6	x_7	x_8	x_9	x_{10}	Y_1	Y_2
x_1	1											
x_2	0.976 **	1										
x_3	0.919 **	0.862 **	1									
x_4	0.940 **	0.927 **	0.970 **	1								
x_5	0.970 **	0.959 **	0.914 **	0.949 **	1							
x_6	0.928 **	0.863 **	0.893 **	0.867 **	0.937 **	1						
x_7	0.963 **	0.944 **	0.938 **	0.942 **	0.970 **	0.932 **	1					
x_8	0.963 **	0.929 **	0.923 **	0.915 **	0.960 **	0.935 **	0.986 **	1				
x_9	0.492	0.403	0.617	0.556	0.490	0.453	0.530	0.613	1			
x_{10}	0.811 **	0.731 *	0.881 **	0.816 **	0.809 **	0.888 **	0.800 **	0.807 **	0.472	1		
Y_1	0.961 **	0.955 **	0.930 **	0.952 **	0.973 **	0.910 **	0.987 **	0.954 **	0.438	0.773 **	1	
Y_2	0.889 **	0.825 **	0.839 **	0.833 **	0.789 **	0.771 **	0.765 **	0.789 **	0.481	0.763 *	0.769 **	1

注: * 表示差异显著 ($P < 0.05$); ** 表示差异极显著 ($P < 0.01$),下同。

表 4 因变量苕蓝叶产量和根产量正态性检验

因变量	柯尔莫诺夫-斯米尔诺夫检验			夏皮罗-威尔克检验法		
	统计量	自由度	sig.	统计量	自由度	sig.
苕蓝叶产量 Y_1	0.203	10	0.200 *	0.901	10	0.226
苕蓝根产量 Y_2	0.161	10	0.200 *	0.931	10	0.455

表 5 苕蓝产量与农艺性状之间构建的 3 种回归模型结果

苕蓝叶产量 Y_1					苕蓝根产量 Y_2				
模型	相关系数 R	决策系数 R^2	调整后 R^2	标准估计的 误差	模型	相关系数 R	决策系数 R^2	调整后 R^2	标准估计的 误差
1	0.987 ^{a1}	0.975	0.972	0.27207	1	0.889 ^{a2}	0.790	0.764	0.88872
2	0.995 ^{b1}	0.990	0.987	0.18455	2	0.950 ^{b2}	0.903	0.875	0.64570
3	0.998 ^{c1}	0.996	0.994	0.12237	3	0.985 ^{c2}	0.971	0.956	0.38164

注:a1 表示回归值考虑 x_7 和常数;a2 表示回归值考虑 x_1 和常数;b1 表示回归值考虑 x_7 、 x_8 和常数;b2 表示回归值考虑 x_1 、 x_7 和常数;c1 表示回归值考虑 x_1 、 x_7 、 x_8 和常数;c2 表示回归值考虑 x_1 、 x_3 、 x_7 和常数。

3.3.3 间接通径系数 由表 3 可知,性状 x_1 、 x_7 、 x_8 之间的相关系数为 $r_{17} = r_{71} = 0.963$ 、 $r_{18} = r_{81} = 0.963$ 、 $r_{78} = r_{87} = 0.986$;由表 6 可知,模型 3 叶产量

的直接通径系数分别为 $p_{1y} = 0.309$ 、 $p_{7y} = 1.574$ 、 $p_{8y} = -0.896$ 。

$$r_{iy} = p_{iy} + \text{所有 } x_{iy} \quad (3)$$

$$x_{iy} = r_{ij} \cdot p_{iy} \tag{4}$$

式中^[16,23-24]: r 为相关系数; i 和 y 分别为自变量 x 和因变量 Y ; p_{iy} 和 x_{iy} 分别为 x_i 与 Y 的直接和间接途径系数。

表 7 和 8 分别为菰蓝叶和根产量的间接途径系

数。根据表 7、8,由公式(3)可算得 x_1 、 x_7 、 x_8 与叶产量间相关系数 r_{1y} 、 r_{7y} 、 r_{8y} 分别为 0.961、0.987、0.954,与表 3 中的数值($r_{1y} = 0.961$ 、 $r_{7y} = 0.987$ 、 $r_{8y} = 0.954$)相同。由公式(4)可计算出 x_7 、 x_8 分别对 x_1 的间接途径系数, x_{17} 、 x_{18} 分别为 1.515、-0.863。

表 6 菰蓝叶和根产量的直接途径系数

叶产量系数						根产量系数					
模型	非标准化系数		途径系数	显著性检验 T	P	模型	非标准化系数		途径系数	显著性检验 T	P
	B	标准误差					B	标准误差			
1	常数	-1.154	0.755	-1.529	0.165	1	常量	-4.411	2.865	-1.540	0.162
	x_7	0.648	0.037	0.987	17.654	1	x_1	0.602	0.110	0.889	5.489
	常数	3.034	1.397	2.172	0.066	1	常量	-6.677	2.227	-2.997	0.020
2	x_7	1.128	0.151	1.718	7.473	2	x_1	1.414	0.295	2.088	4.789
	x_8	-9.379	2.910	-0.741	-3.223	2	x_7	-0.922	0.323	-1.245	-2.856
	常数	3.081	0.926	3.326	0.016	2	常量	-6.964	1.319	-5.281	0.002
3	x_7	1.033	0.104	1.574	9.890	3	x_1	1.306	0.177	1.929	7.388
	x_8	-11.343	2.028	-0.896	-5.594	3	x_7	-1.340	0.221	-1.810	-6.062
	x_1	0.185	0.059	0.309	3.150	3	x_3	0.368	0.098	0.764	3.747

注: B 为回归系数; P 为 0.05 的显著性水平。

表 7 菰蓝叶产量与农艺性状指标的间接途径系数

自变量	与 Y_1 的简单相关系数	直接途径系数	间接途径系数				决策系数
			x_1	x_7	x_8	合计	
x_1	0.961	0.309		1.515	-0.863	0.652	0.498
x_7	0.987	1.574	0.297		-0.884	-0.587	0.630
x_8	0.954	-0.896	0.298	1.552		1.850	-2.512

表 8 菰蓝根产量与农艺性状指标的间接途径系数

自变量	与 Y_2 的简单相关系数	直接途径系数	间接途径系数				决策系数
			x_1	x_3	x_7	合计	
x_1	0.889	1.929		0.703	-1.743	-1.040	-0.291
x_3	0.839	0.764	1.773		-1.698	0.075	0.698
x_7	0.765	-1.810	1.858	0.717		2.575	-6.045

3.3.4 决策系数 若途径分析中的决策系数(R^2)为正,则自变量增进因变量,反之则抑制因变量^[25-27],其计算公式如下:

$$R^2(i) = 2p_{iy}r_{iy} - p_{iy}^2 \tag{5}$$

公式中各字母代表的含义同上,计算结果详见表 7、8。

由表 7 可知,在亏缺灌水处理下,自变量 x_1 、 x_7 、 x_8 对菰蓝单株叶产量 Y_1 的直接影响中,主根长 x_7 影

响最大,株高 x_1 次之,而主根直径 x_8 的影响为负。分析各个间接途径系数发现,主根直径 x_8 和株高 x_1 经主根长 x_7 对 Y_1 的间接途径系数分别为 1.552、1.515;主根长 x_7 和主根直径 x_8 经株高 x_1 对 Y_1 的间接途径系数分别为 0.297、0.298。将间接途径系数求和可知,单株根直径、株高、主根长对 Y_1 影响依次减弱,而由决策系数来看,由大到小影响 Y_1 的次序为单株主根长、株高、根直径。由决策系数可得,单株

株高、单株主根长对苕蓝叶产量均有促进作用,而单株根直径则为抑制作用。

由表8可知,在亏缺灌水处理下,自变量 x_1 、 x_3 、 x_7 对苕蓝单株根产量 Y_2 的直接影响中,株高 x_1 影响最大,叶长 x_3 次之。同理分析间接通径系数可知,叶长 x_3 与主根长 x_7 经株高 x_1 对 Y_2 的间接通径系数分别为1.773和1.858;主根长 x_7 经叶长 x_3 对 Y_2 的间接通径系数为0.717。同上求和可知,单株主根长对 Y_2 的影响最大,单株叶长次之。但从决策系数分析来看,影响最大的却是单株叶长,它对苕蓝根产量起主导作用。

4 讨论

作物地上和地下部分互相依赖,彼此影响,且对水分等环境因子的反映有着不同表现,如何通过对环境因素调控,并协同调整上、下部分,使其向有利于提高效益方向倾斜,这对农业生产具有较为重要的意义^[28]。郑健等^[17]对温室小型西瓜的亏水试验表明,根干质量、茎粗和叶面积指数与产量间相关系数均为极显著水平差异。本试验测算调亏苕蓝的10个主要农艺性状指标,其CV的变化范围为5.45%~17.19%,苕蓝叶和苕蓝根产量的CV分别为13.14%和16.28%,说明调亏灌溉对苕蓝农艺性状存在一定程度的影响。通过对苕蓝10项主要农艺性状及根叶产量间的相关分析可知,影响苕蓝根叶产量的各农艺性状间存在一定程度的相关性,且产量与除根冠比外的其余性状间的简单相关系数均达到显著和极显著影响水平,说明各农艺性状因子与苕蓝产量之间以及各单项因子之间共同作用,彼此影响。

本文以苕蓝为研究对象,采用通径分析模型对不同控水处理苕蓝的农艺性状指标与产量进行了综合分析,从相关分析的结果来看,在一定程度上,通径分析模型揭示了产量的影响因子之间及各因子与产量间的相互作用,探明了构成作物高产的主要因子。张旭东等^[29]对水稻在生育阶段亏水条件下经通径分析方法研究发现,协调提升水稻有效穗数、单穗粒数、实粒数对实现水稻高产的目标有利。施关正等^[30]试验结果显示,玉米在中度干旱胁迫环境下,单穗粒数与叶面积(LA)之间相关关系达极显著水平,而与株高、行粒数均为显著,其中穗位高和单穗粒重的直接通径系数最大,其次是叶面积、百粒重、行粒数。许海霞等^[31]对小麦进行水分胁迫试验发现,穗粒数、单株穗数、千粒重、穗长和株高等指标

均会直接影响小麦单株产量,影响作用依次减小。本研究结果显示,苕蓝农艺性状对根叶产量均有不同程度的作用,且该作用分别由直接作用和间接作用构成。将各农艺性状与苕蓝叶、根产量的相关系数分解,得到其直接、间接通径系数,进而求得决策系数,结果表明:株高和主根长对苕蓝叶产量起促进作用,而叶长则对苕蓝根产量有正向作用。因此,株高、主根长和叶长为评判苕蓝产量的重要农艺性状,这与袁伟玲等^[32]的研究结论相近且较为一致。同时也表明对苕蓝进行阶段亏水处理,在干旱胁迫下协调植株各部分的生物量分配,增加苕蓝植株的株高、叶长和主根长,有利于产量的增加。

5 结论

(1)在亏水条件下,苕蓝主要农艺性状指标的变异系数介于5.45%~17.19%之间,说明苕蓝不同生育期控水处理对其农艺性状有一定的影响。

(2)在亏水条件下,苕蓝主要农艺性状指标的简单相关分析结果显示,除根冠比外,其他性状与根、叶产量间均为显著正相关。

(3)通径分析结果表明,在苕蓝的某个生育期适当的进行亏水处理,增加株高和主根长可获得较高的产量;而根直径和叶长对苕蓝叶产量和根产量的影响则是通过对株高、主根长的作用间接作用于产量。

综上所述,在苕蓝的栽培过程中,要适时观测各项农艺性状的变化,特别是对苕蓝产量起关键作用的因子,从而依照苕蓝的需水规律来调节其生长的农田环境,用土壤水分状况调控苕蓝的农艺性状及生长指标,从而获得较高的产量效益,这对于药用作物苕蓝的人工种植具有十分重要的意义。然而,通过相对或复合农艺性状指标等来实现对苕蓝叶、根产量间接影响的评定,以及具体生育阶段亏水和土壤水分含量对苕蓝叶、根产量的影响作用,还有待于今后进一步地分析研究。

参考文献:

- [1] 杜宗绪,刘英,高嗣慧.板蓝根栽培与贮藏加工新技术[M].北京:中国农业出版社,2005.
- [2] 国家药典委员会.中华人民共和国药典(一部)[M].北京:中国医药科技出版社,2015.
- [3] 王玉才,邓浩亮,李福强,等.调亏灌溉对苕蓝光合特性及品质的影响[J].水土保持学报,2017,31(6):291-295+325.
- [4] 王瑞,杨海英,杨琪伟,等.板蓝根的质量标准研究

- [J]. 中草药, 2010, 41(3): 478–480.
- [5] SHAN Junjie, ZHAO Chunzhi, LI Qian, et al. An arabinogalactan from *Isatis indigotica* and its adjuvant effects on H1N1 influenza and hepatitis B antigens [J]. Journal of Functional Foods, 2015, 18: 631–642.
- [6] CAO Yong, XU Xia, ZHANG Peiying. Advances in the traditional Chinese medicine-based management of viral myocarditis [J]. Cell Biochemistry and Biophysics, 2015, 73(1): 237–243.
- [7] 蔡焕杰, 康绍忠, 张振华, 等. 作物调亏灌溉的适宜时间与调亏程度的研究 [J]. 农业工程学报, 2000, 16(3): 24–27.
- [8] 孟兆江, 段爱旺, 高阳, 等. 调亏灌溉对冬小麦氮、磷、钾养分吸收与利用的影响 [J]. 农业机械学报, 2016, 47(12): 203–212.
- [9] 邹慧, 黄兴法, 龚时宏. 水分调亏对地下滴灌夏玉米田水热动态的影响 [J]. 农业机械学报, 2012, 43(9): 72–77.
- [10] ZHOU Qun, JU Chengxin, WANG Zhiqin, et al. Grain yield and water use efficiency of super rice under soil water deficit and alternate wetting and drying irrigation [J]. Journal of Integrative Agriculture, 2017, 16(5): 1028–1043.
- [11] 房玉林, 孙伟, 万力, 等. 调亏灌溉对酿酒葡萄生长及果实品质的影响 [J]. 中国农业科学, 2013, 46(13): 2730–2738.
- [12] SEZEN S M, ATILTA Y, SERVET T. Physiological response of red pepper to different irrigation regimes under drip irrigation in the Mediterranean region of Turkey [J]. Scientia Horticulturae, 2019, 245: 280–288.
- [13] SELAHVARZI Y, ZAMANI Z, FATAHI R, et al. Effect of deficit irrigation on flowering and fruit properties of pomegranate (*Punica granatum* cv. Shahvar) [J]. Agricultural Water Management, 2017, 192: 189–197.
- [14] 梁建萍, 贾小云, 刘亚令, 等. 干旱胁迫对蒙古黄芪生长及根部次生代谢物含量的影响 [J]. 生态学报, 2016, 36(14): 4415–4422.
- [15] MORADI P, FORD – LIORD B, PRITCHARD J, et al. Plant – water responses of different medicinal plant thyme (*Thymus* spp.) species to drought stress condition [J]. Australian Journal of Crop Science, 2014, 8(5): 666–673.
- [16] 王恩军, 陈垣, 韩多红, 等. 菘蓝农艺性状与药材产量的相关和通径分析 [J]. 核农学报, 2018, 32(2): 399–406.
- [17] 郑健, 蔡焕杰, 王健, 等. 日光温室西瓜产量影响因素通径分析及水分生产函数 [J]. 农业工程学报, 2009, 25(10): 30–34.
- [18] 郭巧生, 陈宇航, 闫相伟, 等. 菘蓝不同种质生长特性及其与单株产量的相关性分析 [J]. 中国中药杂志, 2009, 34(16): 2034–2038.
- [19] 郭庆海. 菘蓝不同栽培居群的综合评价 [D]. 南京: 南京农业大学, 2008.
- [20] 王恩军, 韩多红, 张勇, 等. 采收期对河西走廊产板蓝根产量和品质的影响 [J]. 中药材, 2016, 39(12): 2686–2690.
- [21] 张琪, 丛鹏, 彭励. 通径分析在 Excel 和 SPSS 中的实现 [J]. 农业网络信息, 2007(3): 109–110+91.
- [22] 刘倩倩. 不同品种类型菘蓝生长发育规律及遗传多样性研究 [D]. 南京: 南京农业大学, 2013.
- [23] 宋小园, 朱仲元, 刘艳伟, 等. 通径分析在 SPSS 逐步线性回归中的实现 [J]. 干旱区研究, 2016, 33(1): 108–113.
- [24] 杜家菊, 陈志伟. 使用 SPSS 线性回归实现通径分析的方法 [J]. 生物学通报, 2010, 45(2): 4–6.
- [25] 韩勇, 姚建军, 陈发棣, 等. 标准切花菊花径与其他重要数量性状的相关与通径分析 [J]. 南京农业大学学报, 2012, 35(1): 33–37.
- [26] 袁志发, 周静芋, 郭满才, 等. 决策系数 – 通径分析中的决策指标 [J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版), 2001, 29(5): 131–133.
- [27] 解小莉, 袁志发. 决策系数的检验及在育种分析中的应用 [J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版), 2013, 41(3): 111–114.
- [28] 武新红, 彭克勤, 梁宗锁, 等. 氮磷对菘蓝营养生长期根、冠生长的影响 [J]. 西北农业学报, 2008, 17(4): 274–278.
- [29] 张旭东, 陈伟, 迟道才, 等. 阶段亏水条件下水稻产量及水分生产率通径分析 [J]. 灌溉排水学报, 2012, 31(1): 127–131.
- [30] 施关正, 赵致, 张卫星, 等. 干旱胁迫下玉米自交系农艺性状的遗传相关与通径分析 [J]. 西南农业学报, 2008, 22(3): 570–574.
- [31] 许海霞, 李伟, 程西永, 等. 干旱胁迫对小麦农艺性状的影响 [J]. 中国农学通报, 2008, 25(3): 125–129.
- [32] 袁伟玲, 梅时勇, 崔磊, 等. 萝卜主要农艺性状与肉质根产量的相关性通径分析 [J]. 北方园艺, 2013(11): 37–39.