



明立伟,汝甲荣,张金鹏,等.工业大麻产量与产量构成因素关系的研究[J].黑龙江农业科学,2024(6):13-18.

工业大麻产量与产量构成因素关系的研究

明立伟,汝甲荣,张金鹏,赵雪,李志新,刘玲玲,李长辉

(黑龙江省农业科学院 克山分院,黑龙江 齐齐哈尔 161005)

摘要:为明确工业大麻品种培育方向,以6个工业大麻品种为试验研究对象,利用随机区组试验设计,进行相关分析和通径分析,探究产量与产量构成因素的相关性。结果表明,原茎产量、纤维产量和产量构成因素存在不同程度的差异,原茎产量与株高、茎粗、全麻率、干茎制成率和纤维产量呈极显著正相关;纤维产量与原茎产量、全麻率和茎粗呈极显著正相关,其中原茎产量和纤维产量的相关性最显著,为0.94;工业大麻产量与产量构成因素的回归方程达显著水平($P < 0.05$),以原茎产量为因变量(Y),全麻率(X_1)、茎粗(X_2)和干茎制成率(X_3)为自变量,分别建立最优线性回归方程为, $Y_{\text{原茎产量}} = -1.792 + 0.472X_1 + 0.390X_2 + 0.325X_3$ 和 $Y_{\text{纤维产量}} = -1.737 + 0.765X_1 + 0.287X_2 + 0.169X_3$;通径分析结果表明,全麻率和干茎制成率对原茎产量和纤维产量的贡献最大,分别为0.470、0.372和0.764、0.311,而株高和茎粗主要是通过影响全麻率和干茎制成率,从而对原茎产量和纤维产量产生间接影响。

关键词:工业大麻;产量构成因素;相关分析;通径分析

大麻一年生草本植物,是一种重要的经济作物,属于大麻科(Cannabaceae)大麻属(Cannabis),别名汉麻^[1-3]。同时大麻也是我国的原产作物之一,按其用途可分为3种,分别为纤维用、药用和籽用^[4-5]。黑龙江省已成为我国工业大麻的主产区,种植面积占比较大^[6]。自2011年以来,黑龙江省的工业大麻产品远销各个国家,目前黑龙江省工业大麻用途主要是纤维用和药用。其中纤维用工业大麻一般泛指毒性较低,不能被用作毒品的品种,其四氢大麻酚(THC)含量低于0.3%^[7-9];因其具有生长速度快、生物产量大、适应性较强和功能性较为广泛等优点,被广泛开发利用^[10],工业大麻的茎秆、种子和花可用作纤维和营养丰富的食用油制作原料^[11]。大麻纤维是天然纺织品开发的理想原料,也是人类最早使用的纤维之一^[12-14]。工业大麻中的韧皮纤维因其纤维长、纤维素含量高、木素含量低、吸湿透气性强、抗菌性好和耐热性好等特点,多用于生产各类纸制品,大麻秆芯是纺织业、食品业等的重要原料^[15-17]。人们对以大麻纤维为原料的衍生物需求不断增加,对工业大麻的开发利用也越来越广泛,因此增加工业大麻的产量至关重要^[18]。

工业大麻的种植历史悠久,收获产量主要由大麻株高、茎粗和株数等决定^[19]。不同作物的产量构成因素与产量之间存在密切联系,焦振飞等^[20]研究发现,胡麻的单株生产力和结果数二者共同

影响其籽粒产量。Suman等^[21]为了探索可用于植物育种计划的新变异来源,通过对22个鹰嘴豆基因型的遗传变异性参数进行相关性和路径分析发现,每株植物的种子产量与主要分枝数、次生分枝数、每株种子数、每株豆荚数、每株生物产量和收获指数呈正相关。周彦民等^[22]研究认为,在玉米产量构成因素中,对其产量影响大小依次为:百粒重>穗长>穗粗>穗行数。蒋龙等^[23]通过对头季稻和再生稻研究发现,结实率是影响头季稻产量的首要因子,单位面积有效穗数为次要因子。张加强等^[24]研究发现,圆果种黄麻的株高、茎粗和全麻率与纤维产量呈正相关。

工业大麻的产量构成因素包括株高、茎粗、全麻率、工艺长度和干茎制成率等,为了进一步提升并充分发挥工业大麻增产潜力,本试验在前人研究的基础上,通过利用6个工业大麻品种的株高、茎粗、全麻率和干茎制成率等产量构成因素与工业大麻的原茎产量和纤维产量进行相关性分析、回归分析和通径分析,探究其影响作用的内在规律,为黑龙江省工业大麻种质资源的改良和栽培技术提升提供技术支撑。

1 材料与方法

1.1 试验地概况

本试验在黑龙江省农业科学院克山分院试验基地进行(48°0'38"N,125°50'34"E,海拔223.4 m),种植年份为2022年。试验田地势平坦且肥力较好,

收稿日期:2023-12-25

基金项目:黑龙江省农业科技创新跨越工程(CX23GG04)。

第一作者:明立伟(1996—),男,硕士,助理研究员,从事经济作物栽培与育种研究。E-mail:mlw903049442@163.com。

通信作者:李长辉(1970—),男,硕士,研究员,从事经济作物栽培与育种研究。E-mail:kslch2000@163.com。

土壤类型为淋溶黑钙土,土壤理化性质为:有机质 16.09 mg·kg⁻¹,碱解氮 90.88 mg·kg⁻¹,速效磷 8.58 mg·kg⁻¹,速效钾 119.56 mg·kg⁻¹。

1.2 材料

本试验采取随机区组设计,供试品种序号分

别为汉麻 1 号、克麻 01、龙大麻 3 号、克麻 02、克麻 03 和克麻 04。汉麻 1 号和龙大麻 3 号品种均由黑龙江省种业技术服务中心提供,克麻 01、克麻 02、克麻 03 和克麻 04 为黑龙江省农业科学院克山分院自育品种材料,品种性状详见表 1。

表 1 供试工业大麻品种性状

品种	株型	叶色	表现型	品种	株型	叶色	表现型
汉麻 1 号	乔木	绿色	雌雄同株	克麻 02	乔木	绿色	雌雄异株
克麻 01	乔木	深绿色	雌雄异株	克麻 03	乔木	深绿色	雌雄异株
龙大麻 3 号	乔木	深绿色	雌雄异株	克麻 04	乔木	深绿色	雌雄异株

1.3 方法

1.3.1 试验设计 播种时间为 2022 年 5 月 10 日,每个处理设 3 次重复,10 行区,行长 8.00 m,行距 0.15 m,小区面积 12.00 m²。种植方式采用条播种植,区间道 1.50 m,组间道 1.50 m,种植密度为 450 万株·hm⁻²。施肥方式为一次性施用基肥,施肥种类为复合肥,施肥量为 300 kg·hm⁻²,其他管理措施同常规大田管理方式。

1.3.2 测定项目及方法 原茎产量:每小区实收面积上获得的原茎质量称原茎产量。

纤维产量:在工艺成熟期时,植株自然风干,将采收的 10 株称重为原茎质量。将原茎沤制好后为干茎重。麻皮剥下称重为纤维质量。根据以上数据进行干茎制成率、全麻率和纤维产量的计算。公式如下^[25]:

干茎制成率(%)=干茎质量(kg)/原茎质量(kg)×100

全麻率(%)=纤维质量(kg)/干茎质量(kg)×100

纤维产量[kg·(667 m²)⁻¹]=原茎产量[kg·667 m²)⁻¹]×干茎制成率(%)×全麻率(%)

变异系数(%)=(标准差/平均值)×100

1.3.3 数据分析 数据采用 Excel 2021 软件进行,采用 Origin 2021 进行图表绘制,采用 SPSS 20.0 进行多重比较。

2 结果与分析

2.1 不同工业大麻品种生育期及积温特性

由表 2 可知,不同工业大麻品种生育期存在差异。不同品种工业大麻均在 5 月 10 日统一播种,除克麻 03 出苗期为 5 月 22 日,其余品种均在 5 月 21 日出苗。克麻 01 和克麻 03 的现蕾期最早,为 7 月 12 日,克麻 02 最晚,为 7 月 18 日。克

麻 03 的开花期最早,克麻 02 最晚,6 个品种的开花期从早到晚依次为:克麻 03、克麻 04、龙大麻 3 号、克麻 01、汉麻 1 号和克麻 02。克麻 01、龙大麻 3 号和克麻 03 的工艺成熟期较短,从短到长依次为龙大麻 3 号(91 d;1 852 ℃),克麻 03(92 d;1 868 ℃),克麻 01(93 d;1 914 ℃),汉麻 1 号、克麻 02 和克麻 04 的工艺成熟期和活动积温较长,从短到长依次为克麻 04(96 d;1 944 ℃),克麻 02(97 d;1 957 ℃),汉麻 1 号(98 d;1 989 ℃)。

表 2 不同品种工业大麻的生育期及积温

品种(系)	播种期	出苗期	现蕾期	开花期	工艺成熟期/d	活动积温/℃
汉麻 1 号	5 月 10 日	5 月 21 日	7 月 15 日	8 月 1 日	98	1989
克麻 01	5 月 10 日	5 月 21 日	7 月 12 日	7 月 29 日	93	1914
龙大麻 3 号	5 月 10 日	5 月 21 日	7 月 13 日	7 月 28 日	91	1852
克麻 02	5 月 10 日	5 月 21 日	7 月 18 日	8 月 2 日	97	1957
克麻 03	5 月 10 日	5 月 22 日	7 月 12 日	7 月 25 日	92	1868
克麻 04	5 月 10 日	5 月 21 日	7 月 13 日	7 月 27 日	96	1944

2.2 不同工业大麻品种产量及产量构成因素

由表 3 可知,克麻 03 的株高显著小于其他品种($P<0.05$),汉麻 1 号、克麻 01、克麻 02 和克麻 04

的茎粗显著大于龙大麻 3 号和克麻 03,其中克麻 02 的株高和茎粗最大,龙大麻 3 号的全麻率和干茎制成率最低,全麻率和干茎制成率从大到小依次

为克麻 02>汉麻 1 号>克麻 04>克麻 01>克麻 03>龙大麻 3 号。结果表明,6 个品种中克麻 03 的株高较矮,茎秆较细,其余品种株高和茎粗适中,汉麻 1 号和克麻 02 的全麻率和干茎制成率最大,具有较高的增产潜力。

克麻 02 的原茎产量和纤维产量最高,分别为 528.15 和 95.19 kg·(667 m²)⁻¹,克麻 03 的原茎产量最低,为 419.37 kg·(667 m²)⁻¹,6 个品种的原茎产量和纤维产量平均值为 468.41 和

73.36 kg·(667 m²)⁻¹。原茎产量和纤维产量从大到小依次为克麻 02>汉麻 1 号>克麻 04>克麻 01>龙大麻 3 号>克麻 03。

由变异系数可以看出,6 个大麻品种株高、茎粗、全麻率、干茎制成率、原茎产量和纤维产量的变异系数范围值为 1.57%~10.62%,说明不同品种茎粗、干茎制成率和原茎产量的变异系数相对较小(表 3)。

表 3 不同品种工业大麻的农艺性状及产量和产量构成因素

品种(系)	株高/mm	茎粗/cm	全麻率/%	干茎制成率/%	原茎产量/ [(kg·667 m ²) ⁻¹]	纤维产量/ [(kg·667 m ²) ⁻¹]
汉麻 1 号	2.04±0.07 a	0.28±0.01 a	19.60±0.90 ab	87.35±2.00 ab	497.58±9.46 b	85.16±4.10 ab
克麻 01	1.96±0.26 a	0.26±0.01 a	18.22±0.72 abc	85.29±0.64 ab	460.90±2.41 d	71.60±2.53 c
龙大麻 3 号	1.89±0.20 a	0.24±0.01 b	15.04±2.19 c	82.25±1.85 b	419.77±8.50 e	51.91±7.37 d
克麻 02	2.13±0.34 a	0.28±0.01 a	20.50±1.12 a	87.94±0.59 a	528.15±2.88 a	95.19±4.10 a
克麻 03	1.32±0.12 b	0.19±0.01 c	16.16±3.43 bc	84.67±4.14 ab	419.37±2.11 e	57.01±9.71 d
克麻 04	1.96±0.22 a	0.27±0.01 a	18.85±1.30 ab	86.81±4.33 ab	484.69±4.02 c	79.30±6.32 bc
变异系数/%	10.62	3.55	8.91	2.63	1.57	8.91

注:不同小写字母表示不同大麻品系间差异显著(P<0.05)。下同。

2.3 不同工业大麻纤维产量和产量构成因素的相关性

由图 1 可知,株高和茎粗、原茎产量呈极显著正相关,与全麻率、纤维产量呈显著正相关;茎粗与原茎产量和纤维产量呈极显著正相关,与全麻率呈显著正相关。原茎产量和全麻率、干茎制成率及纤维产量均呈现极显著正相关;纤维产量与原茎产量和全麻率相关系数较高,分别为 0.94 和 0.92。

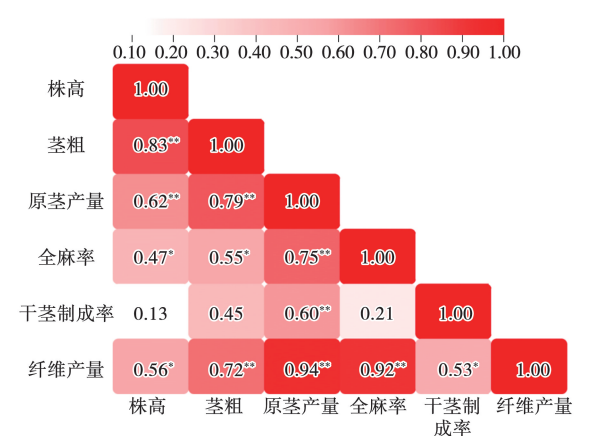


图 1 不同工业大麻产量和产量构成因素相关分析

注: ** 在 0.01 水平(双尾)相关性极显著。
* 在 0.05 水平(双尾)相关性显著。

2.4 不同产量构成因素与产量的回归分析

由表 4 可知,原茎产量检验结果显著水平 P=0.080,纤维产量检验结果显著水平 P=0.651,

P 值均大于 0.05,表明原茎产量、纤维产量的性状的分布呈现为正态分布,数据可靠,能够进行相关分析。

由表 5 可知,各产量构成因素对产量的影响不同,全麻率对单株原茎产量的影响为主要因素,其标准回归系数为 0.472,其次为茎粗,标准回归系数为 0.390,最后为干茎制成率,标准回归系数为 0.325。由表 6 可知,各因素对纤维产量的回归系数大小依次为茎粗(0.765)>全麻率(0.287)>干茎制成率(0.169),茎粗的回归系数最大。虽然茎粗对产量的影响系数大,但其他因素也是影响产量的重要因素,且各因素之间存在着相互作用关系,对产量的影响不能忽略。

以表 5 中的原茎产量为因变量,设为 Y 原茎产量,以全麻率、茎粗和干茎制成率为自变量,分别设为 X₁、X₂ 和 X₃,建立 Y_{原茎产量} = -1.792 + 0.472X₁ + 0.390X₂ + 0.325X₃,当另外 2 个自变量的取值固定于试验范围的某一水平上时,X₁ 每增加 1%时,单株原茎产量提高 0.005 g;同理 X₂ 和 X₃ 每增加 1%时,单株原茎产量就会分别提高 0.004 和 0.003 g;以表 6 中的纤维产量为因变量,设为 Y_{纤维产量},以全麻率、干茎制成率和茎粗为自变量,分别设为 X₁、X₂ 和 X₃,建立 Y_{纤维产量} = -1.737 + 0.765X₁ + 0.287X₂ + 0.169X₃ 方程,X₁ 每增加 1%,其另外 2 个自变量的取值固定于试验范围的

某一水平上,单株纤维产量提高 0.008 g;同理,当 X_2 和 X_3 每增加 1%时,单株原茎产量就会分别提高 0.003 和 0.002 g。

表 4 正态检验输出结果

因变量	Kolmogorov-Smirnov			Shapiro-Wilk		
	统计量	自由度	Sig.	统计量	自由度	Sig.
原茎产量	0.160	18	0.200*	0.908	18	0.080
纤维产量	0.087	18	0.200*	0.963	18	0.651

注: * 为真显著性的下限。

表 5 工业大麻原茎产量和产量构成因素的多元标准回归分析

模型		未标准化回归系数			<i>t</i>	Sig.
		B	标准误差	标准回归系数		
1	常量	2.109	0.497	—	4.241	0.001
	茎粗	10.194	1.953	0.794	5.219	0.000
2	常量	1.560	0.436	—	3.576	0.003
	茎粗	6.992	1.873	0.544	3.732	0.002
	全麻率	0.075	0.024	0.456	3.129	0.007
3	常量	-1.797	1.211	—	-1.483	0.160
	茎粗	5.003	1.679	0.390	2.980	0.010
	全麻率	0.078	0.020	0.472	3.952	0.001
	干茎制成率	0.044	0.015	0.325	2.900	0.012

表 6 工业大麻纤维产量和产量构成因素的多元标准回归分析

模型		未标准化回归系数			<i>t</i>	Sig.
		B	标准误差	标准回归系数		
1	常量	-0.356	0.119	—	-3.000	0.008
	茎粗	0.060	0.007	0.918	9.270	0.000
2	常量	-1.890	0.249	—	-7.605	0.000
	茎粗	0.055	0.004	0.845	15.561	0.000
	全麻率	0.019	0.003	0.347	6.386	0.000
3	常量	-1.737	0.206	—	-8.432	0.000
	茎粗	0.050	0.003	0.765	15.008	0.000
	全麻率	0.016	0.003	0.287	6.012	0.000
	干茎制成率	0.867	0.286	0.169	3.036	0.009

2.5 不同产量构成因素和原茎产量的通径分析

由表 7 可知,直接通径系数中全麻率和干茎制成率对单株原茎产量影响最大,通径系数分别为 0.470 和 0.372,说明全麻率和干茎制成率是对单株原茎产量重要的影响因素。株高和茎粗对单株原茎产量的通径系数虽然不及全麻率和干茎制成率,但也是单株原茎产量的关键影响因素,通

径系数分别为 0.155 和 0.241。以茎粗、全麻率和干茎制成率为参考指标,株高对单株原茎产量的影响系数为 0.128 5,全麻率的影响系数为 0.073 2,干茎制成率的影响系数为 0.020 2。而茎粗对单株纤维产量的影响系数为 0.199 8,全麻率的影响系数为 0.131 6,干茎制成率的影响系数为 0.108 5。

表 7 工业大麻原茎产量和产量构成因素的通径分析

产量构成因素	直接通径系数	间接通径系数				合计
		x_1	x_2	x_3	x_4	
x_1	0.155	—	0.1285	0.0732	0.0202	0.2219
x_2	0.241	0.1998	—	0.1316	0.1085	0.4399
x_3	0.470	0.2218	0.2566	—	0.0996	0.5780
x_4	0.372	0.0484	0.1674	0.0789	—	0.2947

注: x_1 为株高; x_2 为茎粗; x_3 为全麻率; x_4 为干茎制成率。下同。

2.6 不同产量构成因素和纤维产量的通径分析

由表 8 可知,直接通径系数中全麻率和干茎制成率对单株纤维产量影响最大,通径系数分别为 0.764 和 0.311,说明全麻率和干茎制成率是对单株纤维产量重要的影响因素。株高和茎粗对单株纤维产量的通径系数虽然不及全麻率和干茎制成率,但也是单株纤维产量的关键影响因素,通径系数分别为 0.076 和 0.096。以茎粗、全麻率和干茎制成率为参考指标,株高通过茎粗对单株纤维产量的间接通径系数为 0.063 0,通过全麻率的影响系数为 0.035 9,通过干茎制成率的影响系数为 0.009 9,而茎粗通过株高与单株纤维产量的间接通径系数为 0.079 6,通过全麻率的间接通径系数为 0.052 4,通过干茎制成率的间接通径系数为 0.043 2。

表 8 工业大麻纤维产量和产量构成因素的通径分析

产量构成因素	直接通径系数	间接通径系数				合计
		x_1	x_2	x_3	x_4	
x_1	0.076	—	0.0630	0.0359	0.0099	0.1088
x_2	0.096	0.0796	—	0.0524	0.0432	0.1752
x_3	0.764	0.3606	0.4171	—	0.1620	0.9397
x_4	0.311	0.0404	0.1400	0.0659	—	0.2463

3 讨论

探讨产量构成因素与原茎产量和纤维产量之间内在联系,对工业大麻种质资源的创新、目标性状的改良和充分提高工业大麻生产力有着重要的意义。前人研究表明,作物产量的高低与其构成因素有关,不同的产量构成因素对产量的作用不尽相同,它们之间相互作用,彼此联系,相互影响^[26]。

遗传变异系数(CV)是反映数据离散程度的重要指标,通常被用于评价种质资源遗传多样性,可以直接反映变异潜力的大小^[27-28]。本研究表明,不同工业大麻品种的产量及产量构成因素变异系数变化范围为1.569%~10.618%,变异幅度较大。原茎产量和干茎制成率变异系数最小,而变异系数越小,表明品种原茎产量和干茎制成率的静态稳定性越好。

由相关分析可知,工业大麻的株高、茎粗、全麻率和干茎制成率等产量构成因素与原茎产量和纤维产量存在不同程度的相关性差异。张雪等^[29]在吉林省不同 pH 土壤上种植不同的工业大麻品种,研究表明,工业大麻株高与茎粗呈显著负相关;而高金虎等^[30]研究认为,工业大麻的株高与茎粗呈现显著正相关;冯旭平等^[31]研究发现,株高和茎粗呈不显著正相关,但相关性较弱。本研究结果与高金虎等研究结果相似,本研究中工业大麻株高和茎粗呈极显著正相关,分析造成工业大麻株高与茎粗相关性出现差异的原因,可能是因为种植区域和试验品种等条件不同导致。曹洪勋等^[32]研究发现,亚麻的全麻率与纤维产量呈显著正相关,与原茎产量呈显著负相关;本研究结果发现,工业大麻全麻率和纤维产量呈极显著正相关,这与曹洪勋等^[32]和张加强等^[24]研究结果相似,而本研究表明全麻率与原茎产量呈极显著正相关,这与曹洪勋的研究结果不同,这说明工业大麻全麻率和原茎产量间相关性与亚麻不同,可能是因为大麻和亚麻分属不同作物,相关作用机理存在差异。张晓艳等^[33]研究表明,干茎制成率对纤维产量的影响,主要是通过影响全麻率的间接作用而产生的。而本研究发现,对大麻产量贡献最大的因子为全麻率和干茎制成率,而株高和茎粗产生的影响主要是间接影响全麻率和干茎制成率,其中全麻率对单株原茎产量和单株纤维产量是最具影响的因素。根据全麻率(X_1)、干茎制成率(X_2)和茎粗(X_3)为自变量,原茎产量($Y_{\text{原茎产量}}$)和纤维产量($Y_{\text{纤维产量}}$)为因变量,分别得到 $Y_{\text{原茎产量}} = -1.792 + 0.472X_1 + 0.39X_2 + 0.325X_3$ 和 $Y_{\text{纤维产量}} = -1.737 + 0.765X_1 + 0.287X_2 + 0.169X_3$ 的两个方程。通过方程可以算出当全麻率(X_1)每增加1%,其他2个自变量取值固定在试验范围内某一水平时,单株原茎产量和单株纤维产量分别增加0.005和0.008 g。在其他指标固定时,全麻率对纤维产量的影响大于原茎产量,所以通过研究结果分析,当育种工作着重于提升大麻的纤维产量时,可以通过提高工业大麻的全麻率突破。

本研究发现,全麻率和干茎制成率的直接通径系数对单株纤维产量影响最大,通径系数分别

为0.764和0.311,间接说明提高工业大麻的全麻率和干茎制成率对工业大麻产量的提高具有关键作用。为了科学种植工业大麻,在提高工业大麻全麻率和干茎制成率的同时,协调群体和个体的发展,最终达到增产的效果。同时,结合不同地区的实际情况,综合考虑各种因素,实现科学种植和增产。这为后续工业大麻育种工作提供了重要的参考和指导。

4 结论

供试的6个工业大麻品种生育期和活动积温表现为,龙大麻3号(91 d;1 852 °C),克麻03(92 d;1 868 °C),克麻01(93 d;1 914 °C),克麻04(96 d;1 944 °C),克麻02(97 d;1 957 °C),汉麻1号(98 d;1 989 °C)。6个大麻品种株高、茎粗、全麻率、干茎制成率、原茎产量和纤维产量的变异系数范围值为1.57%~10.62%。原茎产量和株高、茎粗、全麻率、干茎制成率及纤维产量均呈现极显著正相关;纤维产量与原茎产量、全麻率和茎粗呈现极显著正相关,与株高和干茎制成率呈显著正相关。工业大麻产量与产量构成因素的回归方程达显著水平($P < 0.05$),以原茎产量为因变量(Y),全麻率(X_1)、茎粗(X_2)和干茎制成率(X_3)为自变量,分别建立最优线性回归方程为, $Y_{\text{原茎产量}} = -1.792 + 0.472X_1 + 0.390X_2 + 0.325X_3$ 和 $Y_{\text{纤维产量}} = -1.737 + 0.765X_1 + 0.287X_2 + 0.169X_3$;通径分析结果表明,全麻率和干茎制成率对原茎产量和纤维产量的贡献最大,分别为0.470、0.372和0.764、0.311,而株高和茎粗主要是通过影响全麻率和干茎制成率,从而对原茎产量和纤维产量产生间接影响。

参考文献:

- [1] 关昕,祁可香,李宛儒,等.工业大麻发酵后其CBD及CBDA含量的动态变化[J].中国农学通报,2023,39(21):144-150.
- [2] 黄素云,黄小琴,刘圆圆.工业大麻FLA基因家族的全基因组鉴定及生物信息学分析[J].分子植物育种,2023,21(13):4247-4255.
- [3] EKREN S, OZTURK G, GOKÇOL A, et al. Effect of nitrogen application rate and harvesting stage on yield and agronomic parameters of industrial hemp (*Cannabis sativa* L.) [J]. Crop Science, 2023, 63(5): 3051-3064.
- [4] 严江涛,常丽,张江江,等.工业大麻中大麻二酚提取工艺优化和生物活性分析[J].中国麻业科学,2020,42(2):61-69.
- [5] 王雪丽,何莉梅,孙小旭,等.梨小食心虫天敌资源及应用研究进展[J].中国果树,2023(6):1-5,15.
- [6] 韩承伟,姜颖,孙宇峰,等.黑龙江省籽用型工业大麻的应用及高产栽培关键技术[J].黑龙江农业科学,2023(4):121-124.
- [7] 张利国.纤维型工业大麻新品种龙大麻4号选育报告[J].中国麻业科学,2023,45(3):102-105.
- [8] 张晓艳,孙宇峰,王雪杰,等.LED和高压钠灯对工业大麻生长及光合特性的影响[J].中国麻业科学,2023,45(3):114-120.
- [9] 张晓艳,王晓楠,曹焜,等.碱性盐胁迫对3个国外引进工业大

- 麻品种萌发特性的影响及评价[J]. 种子, 2021, 40(6): 58-63.
- [10] 李鸿, 和晓敏, 洪秋, 等. 不同工业大麻品种对铅的富集与转运特性[J]. 江西农业学报, 2023, 35(6): 158-163.
- [11] KAUR G, KANDER R. The sustainability of industrial hemp: a literature review of its economic, environmental, and social sustainability [J]. Sustainability, 2023, 15(8): 6457.
- [12] 解林昊, 张雪, 王庆峰, 等. 九个纤用型工业大麻品种比较试验[J]. 黑龙江农业科学, 2022(11): 19-21.
- [13] CHABBERT B, PHILIPPE F, THIÉBEAU P, et al. How the interplay between harvest time and climatic conditions drives the dynamics of hemp (*Cannabis sativa* L.) field retting[J]. Industrial Crops and Products, 2023, 204: 117294.
- [14] CERRATO A, BIANCOLILLO A, CANNAZZA G, et al. Untargeted cannabinomics reveals the chemical differentiation of industrial hemp based on the cultivar and the geographical field location[J]. Analytica Chimica Acta, 2023, 1278: 341716.
- [15] 申惠莹, 雷以超, 陈灵晨. 大麻切皮纤维不同制浆方法纸浆性能的研究[J]. 中国造纸, 2023, 42(7): 49-56, 93.
- [16] 韩振宁, 王守波, 张先顺, 等. 精细化大麻纤维梳理工艺参数的优化[J]. 上海纺织科技, 2022, 50(9): 39-43.
- [17] 李华, 李毓陵, 马颜雪, 等. 不同部位大麻纤维厌氧生物脱胶后的基本特性研究[J]. 中国麻业科学, 2022, 44(1): 37-42.
- [18] ZHAO X L, WEI X Y, GUO Y, et al. Industrial hemp—an old but versatile bast fiber crop[J]. Journal of Natural Fibers, 2022, 19(13): 6269-6282.
- [19] 王怀鹏, 邱广伟, 孙继英, 等. 氮、磷、钾施肥量与施肥比例对纤维型工业大麻农艺性状及产量的影响[J]. 农业科技通讯, 2023(7): 115-120, 123.
- [20] 焦振飞, 吴瑞香, 邢宝龙, 等. 晋北区胡麻品种(系)产量构成因素相关性分析[J]. 山西农业科学, 2021, 49(7): 849-854.
- [21] SUMAN P, LAL G M, SREE J S. Genetic analysis for seed yield and its yield components in chickpea (*Cicer arietinum* L.) [J]. International Journal of Plant & Soil Science, 2023, 35(19): 1576-1587.
- [22] 周彦民, 易红华, 胡伟, 等. 十八个玉米杂交组合产量及其构成因素的灰色关联度分析[J]. 南方农业, 2023, 17(7): 129-133.
- [23] 蒋龙, 汪雨萍, 刘海平, 等. 赣南地区杂交水稻组合再生稻筛选及产量构成因素分析[J]. 江西农业学报, 2020, 32(12): 16-20.
- [24] 张加强, 骆霞虹, 陈常理, 等. 圆果种黄麻主要经济性状与纤维产量的相关及灰色关联分析[J]. 中国麻业科学, 2015, 37(2): 70-74, 79.
- [25] 韩喜财, 夏尊民, 韩承伟, 等. 大庆地区不同施肥水平对汉麻5号生长发育农艺性状及产量影响[J]. 农业与技术, 2022, 42(13): 107-110.
- [26] 王辉, 张晓祥, 王平喜, 等. 玉米产量构成要素的通径分析[J]. 河南科技学院学报(自然科学版), 2022, 50(4): 17-22.
- [27] 杨进, 耿子归, 任梦云, 等. 胶东半岛鲜食大豆种质资源产量及相关农艺性状分析[J]. 大豆科学, 2023, 42(5): 586-594.
- [28] 敏玉霞, 张红岩, 毛玉萍, 等. 外引蚕豆种质资源产量相关性的遗传变异分析[J]. 中国种业, 2023(10): 75-79.
- [29] 张雪, 解林昊, 王庆峰, 等. 吉林省不同 pH 土壤对工业大麻农艺性状及产量的影响[J]. 黑龙江农业科学, 2023(3): 8-13.
- [30] 高金虎, 吴晓宇, 赵铭森, 等. 30 份工业大麻种质资源表型性状的遗传多样性分析[J]. 种业导刊, 2022(3): 7-13.
- [31] 冯旭平, 康红梅, 赵铭森, 等. 工业大麻种质资源主要农艺性状综合分析评价[J]. 山西农业科学, 2023, 51(5): 494-501.
- [32] 曹洪勋, 夏尊民, 宋鑫玲, 等. 纤用亚麻主要农艺性状的相关性和主成分分析[J]. 中国麻业科学, 2016, 38(2): 75-78.
- [33] 张晓艳, 王晓楠, 曹焜, 等. 5 个工业大麻品种(系)纤维产量及产量构成因素的相关性分析[J]. 作物杂志, 2020(4): 121-126.

Study on the Relationship Between Industrial Cannabis Yield and Its Component Factors

MING Liwei, RU Jiarong, ZHANG Jinpeng, ZHAO Xue, LI Zhixin, LIU Lingling, LI Changhui
(Keshan Branch, Heilongjiang Academy of Agricultural Sciences, Qiqihar 161005, China)

Abstract: In order to clarify the direction of cultivating industrial hemp varieties, six industrial hemp varieties were selected as experimental research objects. Random block experimental design was used to conduct correlation analysis and path analysis to explore the correlation between yield and yield components. The results showed that there were differences in the original stem yield, fiber yield, and yield components among different cities. The original stem yield was highly significantly positively correlated with plant height, stem diameter, total hemp rate, dry stem production rate, and fiber yield. The fiber yield was highly significantly positively correlated with the original stem yield, total hemp rate, and stem diameter, with the most significant correlation between original stem yield and fiber yield being 0.94. The regression equation between industrial hemp yield and its constituent factors reached a significant level ($P < 0.05$), with the original stem yield as the dependent variable (Y) and the total hemp rate (X_1), stem diameter (X_2), and dry stem production rate (X_3) as independent variables. The optimal linear regression equations were established as follows: $Y(\text{original stem yield}) = -1.792 + 0.472X_1 + 0.390X_2 + 0.325X_3$ and $Y(\text{fiber yield}) = -1.737 + 0.765X_1 + 0.287X_2 + 0.169X_3$. The path analysis results indicated that the direct contributions to the original stem yield and fiber yield were the total hemp rate and dry stem production rate, which were 0.470, 0.372, and 0.764, 0.311, respectively. However, plant height and stem mainly have an indirect impact on the original stem yield and fiber yield by affecting the total hemp rate and dry stem production rate.

Keywords: industrial hemp; yield composition factors; related analysis; path analysis