

黔中地区不同播期对鲜食玉米营养品质的影响

邹 军¹, 韦海龙², 安 林³, 左 晋⁴, 程 乙³, 宋 碧³

(1. 贵州省农作物技术推广总站, 贵阳 550001; 2. 凯里学院, 贵州 凯里 556099;

3. 贵州大学, 贵阳 550025; 4. 贵州省生态气象和卫星遥感中心, 贵阳 550001)

摘 要: 2022年采用裂区设计,以万糯2000、农科糯336和彩甜糯6号为试验材料,设3·10、3·20、3·30、4·09、4·19、4·29(月·日)6个播期,测定不同播期条件下鲜食玉米营养品质变化。采用回归分析和灰色关联度分析,探究鲜食玉米营养品质形成对气象因子的响应。结果表明,不同播期对鲜食玉米品质含量影响差异显著($P<0.05$),随着播期推迟,子粒粗脂肪、粗蛋白、支链/直链淀粉、赖氨酸、可溶性糖和叶酸含量呈不同程度增加趋势。随吐丝后时间变化,鲜食玉米子粒粗脂肪、支链淀粉和直链淀粉含量呈增加趋势,粗蛋白和赖氨酸含量呈降低趋势,可溶性糖和叶酸含量呈先增后降趋势。气象因子对品质指标影响程度的灰色关联排名为有效积温、日均温、降雨量、日照时数。播期显著影响黔中地区鲜食玉米的营养品质,黔中地区万糯2000选择在4月27日左右播种,农科糯336和彩甜糯6号选择在4月21日左右播种,更有利于鲜食玉米生长发育,获得更佳营养品质。

关键词: 鲜食玉米;播期;营养品质;气象因子

中图分类号: S513.047

文献标识码: A

Effect of Different Sowing Dates on the Nutritional Quality of Fresh Corn in the Central Guizhou Region

ZOU Jun¹, WEI Hai-long², AN Lin³, ZUO Jin⁴, CHENG Yi³, SONG Bi³

(1. Guizhou Provincial Crop Technology Extension Station, Guiyang 550001;

2. Kaili College, Kaili 556099; 3. Guizhou University, Guiyang 550025;

4. Guizhou Ecological Meteorology and Satellite Remote Sensing Center, Guiyang 550001, China)

Abstract: In 2022, a split-plot-design was used to measure the changes in nutritional quality of fresh corn under different sowing dates, including March 10, March 20, March 30, April 9, April 19, and April 29, using the best-selling varieties Wannuo 2000, Nongke Nuo 336, and Caitiannuo 6 as materials. Regressive analysis and grey relational analysis methods were used to explore the response of nutritional quality formation of fresh corn to meteorological factors. The results showed that, there was a significant difference in the effect of different sowing dates on the quality content of fresh corn ($P<0.05$). With the postponement of sowing dates, the content of crude fat, crude protein, branched/amylose starch, lysine, soluble sugar, and folate in grains showed an increasing trend to varying degrees. With the change of time after spinning, the content of crude fat, branched starch, amylose starch in fresh corn grains showed an increasing trend, while the content of crude protein and lysine showed a decreasing trend. The content of soluble sugar and folic acid showed a trend of increasing first and then decreasing later. The grey correlation ranking of meteorological factors on yield are effective accumulated temperature, daily mean temperature, rainfall, and sunshine hours. The sowing date affects the nutritional quality of fresh corn significantly in the central Guizhou region. April 27th is chosen to sow for Wannuo 2000, while April 21st is chosen to sow for Nongke Nuo 336 and Caitiannuo 6, which are more conducive to the growth and development of fresh corn and obtains better nutritional quality.

Key words: Fresh corn; Sowing date; Nutritional quality; Meteorological factor

录用日期: 2023-12-01

基金项目: 优质鲜食玉米绿色栽培技术推广项目(黔科合成果[2021]一般002)

作者简介: 邹 军(1982-),主要从事玉米、鲜食玉米研究与推广。E-mail: jeany9693@163.com

宋 碧为本文通信作者。

鲜食玉米是集粮食、果蔬、休闲食品为一体的健康食品。因其适口性好、风味独特,富含糖、脂肪、蛋白质、多种维生素及钙、镁等多种矿质元素^[1],成为人们的新宠,具有很高的经济价值和应用前景^[2]。经过近20年的快速发展,我国已成为全球最大的鲜食玉米生产国和消费国。贵州省具备独特的立体气候优势,加快发展鲜食玉米产业,对发展山地特色高效农业、实施乡村振兴战略、拉动地方经济新的增长点具有十分重要的意义^[3]。

鲜食玉米品质既受遗传的控制,也受气候、土壤与栽培条件的影响,尤其是与灌浆期温度^[4-6]、降雨量、光照条件有关。因此,明确气象因子与鲜食玉米品质形成之间内在关系,有利于优化鲜食玉米播期,更好地利用区域温光水条件,充分发挥鲜食玉米品质的遗传优势。冯颖竹等^[7-9]在播期对南方秋播鲜食玉米主要品质成分的影响研究中发现,早播鲜食玉米灌浆期子粒中可溶性蛋白、粗蛋白、脂肪、淀粉的平均含量比晚播的高。许佳琦等^[10]通过对不同播期下玉米子粒的营养品质研究发现,随着播期推迟,子粒中的可溶性蛋白、可溶性糖、油分和粗淀粉含量先升高后降低,粗蛋白含量降低,晚播处理的玉米淀粉含量高于早播处理^[11-12]。目前,关于玉米产量、品质性状与气象因子之间关系的研究较多,较少针对鲜食玉米品质与气象因子关系的研究,难以从品质指标全面评估鲜食玉米最佳适宜播期。本研究选用市场畅销品种万糯2000、农科糯336和彩甜糯6号为研究对象,通过研究吐丝后子粒灌浆阶段各营养品质指标的变化规律,分析品质指标与气象因子的

关联关系,明确影响鲜食玉米品质形成的关键气象因子,并根据不同品种特性确定最佳适宜播期,利于促进鲜食玉米形成更佳品质。

1 材料与方法

1.1 试验材料

选用3个品种,A1:万糯2000(国审玉2016008)、A2:农科糯336(国审玉20200021)、A3:彩甜糯6号(国审玉20170044),分别来自于河北华穗种业、贵州卓豪种业、荆州恒彩种业。

1.2 试验设计

本试验于2022年在贵阳清镇市暗流镇贵州省国家农业气象测试站(E 106°3'48", N 26°8'10", 海拔1 189 m)进行。试验地土壤(0~20 cm)pH值6.4、有机质21.43 g/kg、全氮2.19 g/kg、全磷0.74 g/kg、全钾11.03 g/kg、速效氮185.76 mg/kg、速效磷7.82 mg/kg、速效钾85.33 mg/kg。采用两因素裂区设计,播期为主区,设置6个播期(月·日):B1(3·10)、B2(3·20)、B3(3·30)、B4(4·9)、B5(4·19)、B6(4·29);品种为副区。3次重复,主区面积为63 m²(18 m×3.5 m),副区面积为21 m²(6 m×3.5 m)。宽窄行直播种植(80 cm+60 cm),种植密度为47 622 株/hm²。基肥施用复合肥(N:P₂O₅:K₂O=15:15:15)750 kg/hm²,追肥施用尿素300 kg/hm²(拔节期)和300 kg/hm²(大喇叭口期),其他栽培措施同当地鲜食玉米大面积生产。收获期选择在授粉后20~30 d,苞叶由青绿变黄绿、花丝枯萎变深褐色、穗粒饱满未出现凹陷为标志^[13]。鲜食玉米生育期间的气象条件见图1。

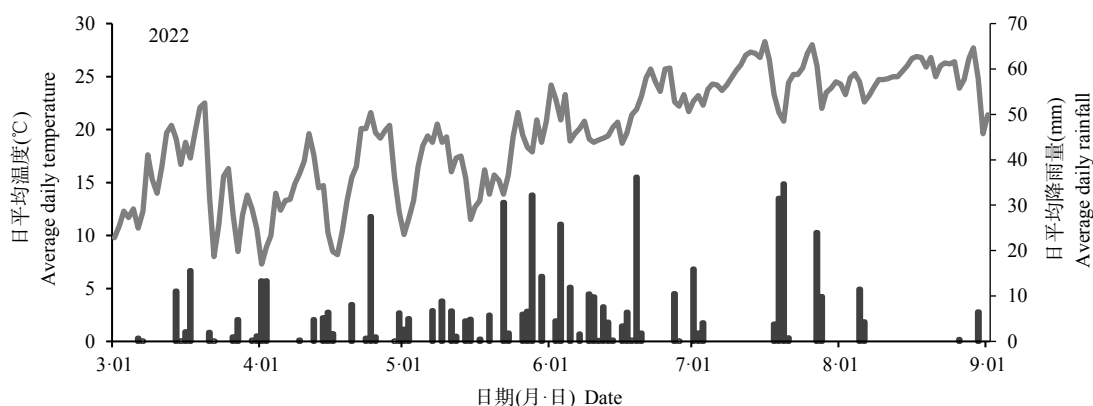


图1 2022年鲜食玉米生长季日平均降水量及日平均气温

Fig.1 Daily average precipitation and average temperature during the growing season of fresh corn in 2022

1.3 测定项目与方法

记录各处理播种后出苗至吐丝及适宜收获期的时间与气象数据,参照严定春等^[14]方法计算。吐丝后每隔5 d,每个小区取3个果穗于冰盒低温带回实

验室,-80℃超低温冰箱进行保存,进行品质相关指标的测定。可溶性糖测定采用蒽酮比色法^[15],赖氨酸测定采用茚三酮比色法^[16],叶酸含量测定采用紫外分光法^[17],粗脂肪测定采用索式抽提法^[18],粗蛋白

含量测定采用凯氏定氮法^[19],支/直链淀粉含量测定采用双波长法^[20]。

1.4 数据处理与分析

采用 Microsoft Excel 2016 整理数据,采用 SPSS 20.0 进行相关性和方差分析。

2 结果与分析

2.1 不同播期对鲜食玉米营养品质的影响

2.1.1 粗脂肪和粗蛋白

由表 1 可知,不同播期间粗脂肪积累量随吐丝后时间变化呈增加趋势,A2 和 A3 品种在吐丝后各时间段粗脂肪含量随播期推迟均呈显著差异,A1 除在吐丝后 5 d 和 15 d 播期间无显著差异,其余各时间段均呈显著差异。粗脂肪积累量 A1 在 B4 播期吐丝

表 1 不同播期下鲜食玉米吐丝后粗脂肪和粗蛋白含量变化

Table 1 Changes in crude fat and crude protein content of fresh corn after silking under different sowing dates

品 种 Variety	播 期 Sowing date	吐丝后天数 Days after silking																	
		5 d			10 d			15 d			20 d			25 d			30 d		
		粗脂肪 Crude protein	粗蛋白 Crude fat	粗脂肪 Crude protein	粗蛋白 Crude fat	粗脂肪 Crude protein	粗蛋白 Crude fat	粗脂肪 Crude protein	粗蛋白 Crude fat	粗脂肪 Crude protein	粗蛋白 Crude fat	粗脂肪 Crude protein	粗蛋白 Crude fat	粗脂肪 Crude protein	粗蛋白 Crude fat	粗脂肪 Crude protein	粗蛋白 Crude fat		
A1	B1	34.57 a	252.50 b	40.72 a	259.89 a	45.29 a	163.83 c	56.97 a	140.61 b	54.27 b	103.32 b	38.13 d	91.76 b						
	B2	35.23 a	252.64 b	40.39 a	225.21 b	46.45 a	144.93 d	55.76 a	96.13 d	55.63 b	95.89 b	41.89 d	71.97 c						
	B3	35.43 a	220.05 c	35.89 ab	135.71 e	44.25 a	205.45 a	46.30 b	146.75 b	56.15 b	133.01 a	47.73 c	107.54 ab						
	B4	37.70 a	223.89 c	35.31 ab	197.00 c	45.62 a	155.54 cd	49.78 b	122.14 c	63.63 a	107.11 b	65.94 a	111.14 a						
	B5	31.96 a	296.88 a	33.97 b	217.13 b	45.50 a	192.04 b	32.96 c	183.47 a	40.90 c	136.33 a	48.74 c	104.52 ab						
	B6	35.20 a	159.11 d	32.68 b	160.27 d	45.43 a	151.29 cd	49.16 b	141.45 b	50.04 b	127.36 a	57.94 b	90.49 b						
A2	B1	38.95 ab	239.09 a	38.40 b	166.26 c	47.46 bc	184.10 a	38.02 c	136.95 ab	45.25 d	102.87 b	65.52 a	91.10 bc						
	B2	37.79 ab	128.66 e	40.17 ab	184.25 b	34.89 d	151.72 d	28.92 d	133.81 ab	42.66 d	130.00 a	52.85 bc	133.20 a						
	B3	38.94 ab	224.50 b	37.03 b	278.37 a	41.23 cd	177.10 abc	44.13 bc	140.93 a	47.35 cd	102.00 b	45.14 c	83.53 c						
	B4	40.64 a	190.43 c	40.98 ab	170.31 c	59.84 a	161.33 cd	47.77 ab	115.11 c	68.43 a	97.73 b	67.38 a	100.08 b						
	B5	32.14 b	184.05 c	46.58 a	178.59 bc	47.02 bc	167.46 bcd	55.17 a	131.41 ab	58.28 b	108.83 b	66.40 a	91.64 bc						
	B6	36.93 ab	148.29 d	30.28 c	137.68 d	50.08 b	178.17 ab	47.26 b	124.51 bc	53.78 bc	108.13 b	56.28 b	103.64 b						
A3	B1	33.62 c	241.68 b	32.03 b	250.09 a	36.56 bc	153.02 bc	36.39 d	107.10 bc	58.09 a	99.92 ab	49.31 b	87.67 bc						
	B2	43.10 b	231.77 b	39.18 b	137.83 d	42.84 ab	112.53 e	47.24 bc	89.14 d	46.68 b	95.33 b	48.29 b	68.24 c						
	B3	32.42 c	153.66 c	34.53 b	194.12 b	33.75 c	121.79 de	49.92 b	98.56 cd	62.49 b	108.69 a	54.18 ab	96.77 b						
	B4	49.14 ab	168.03 c	49.68 a	118.74 e	48.86 a	136.15 cd	58.10 a	103.48 bc	48.31 a	109.49 a	49.56 b	101.14 b						
	B5	23.02 d	154.07 c	37.38 b	167.71 c	33.30 c	160.88 b	40.66 cd	114.25 b	43.21 b	99.71 ab	46.94 b	96.22 b						
	B6	52.89 a	299.30 a	35.67 b	244.77 a	43.61 ab	184.00 a	40.73 cd	164.27 a	56.92 a	110.12 a	60.77 a	122.63 a						
因素显著性	播期	0.032*	0.008**	0.005**	0.005**	0.006**	0.004**	0.008**	0.005**	0.007**	0.009**	0.008**	0.005**						
	品种	0.087	0.002**	0.112	0.007**	0.009**	0.006**	0.007**	0.007**	0.054	0.008**	0.003**	0.069						
	播期×品种	0.007**	0.003**	0.007**	0.004**	0.006**	0.004**	0.005**	0.006**	0.005**	0.009**	0.004**	0.005**						

注:同列不同小写字母表示不同处理间差异显著;“*、*”表示差异极显著($P<0.01$)、显著($P<0.05$)。下表同。
Note: Different lowercase letters in the same column indicate significant differences between different treatments. ** indicates very significant($P<0.01$), * indicates significant($P<0.05$).
The same below.

后30 d达到最高(65.94 mg/g), A2在B4播期吐丝后25 d达最高(68.43 mg/g), A3在B6播期吐丝后30 d达最高(60.77 mg/g)。播期推迟有利于子粒发育过程中粗脂肪的积累,使收获期子粒粗脂肪含量增加。

不同播期随着吐丝后天数的增加, A1、A2和A3品种的粗蛋白含量均呈显著下降趋势。其中,吐丝后5~20 d为极显著下降;20~25 d为显著下降;25~30 d为极显著下降。吐丝后25~30 d一般为收获期,此时3个品种的粗蛋白含量变幅为68.24~

122.63 mg/g,且3个品种在B4播期下的吐丝后30 d粗蛋白含量较高。说明播期适宜推迟有利于粗蛋白含量的积累。

2.1.2 直链淀粉和支链淀粉

由表2可知,随着吐丝后时间的变化,子粒中的支直链淀粉含量均呈增加趋势。吐丝后5~15 d,为支直链淀粉渐增期;吐丝后15~25 d,为支直链淀粉速增期;吐丝后25~30 d,为支直链淀粉缓增期。A1品种支链淀粉含量最高, A2和A3品种支链淀粉

Table 2 Changes in amylose and amylopectin content of fresh corn after silking under different sowing dates														mg/g	
品种 Variety	播期 Sowing date	吐丝后天数 Days after silking													
		5 d			10 d			15 d			20 d				
		支链 Amylopectin	直链 Amylose	支链 Amylopectin	支链 Amylopectin	直链 Amylose	支链 Amylopectin	支链 Amylopectin	直链 Amylose	支链 Amylopectin	支链 Amylopectin	支链 Amylopectin	直链 Amylose	支链 Amylopectin	直链 Amylose
A1	B1	20.95 a	7.05 a	40.43 c	7.67 a	89.06 d	8.29 a	467.89 b	6.25 c	463.67 d	13.75 a	454.65 d	7.91 b		
	B2	18.07 a	3.15 c	73.79 a	3.97 b	135.44 c	4.88 b	478.58 a	9.74 a	494.26 c	8.83 b	618.07 a	12.48 a		
	B3	27.65 a	2.70 c	40.54 c	2.07 c	92.49 d	8.00 a	294.95 e	8.19 b	434.68 e	8.85 b	624.23 a	12.97 a		
	B4	22.68 a	3.45 c	41.96 c	2.54 c	185.77 a	2.07 c	485.96 a	6.52 c	542.78 a	12.88 a	575.62 b	8.76 b		
	B5	14.87 b	5.23 b	33.93 c	7.05 a	62.31 e	8.18 a	325.24 d	8.87 ab	427.02 e	13.54 a	622.37 a	8.65 b		
	B6	20.89 a	3.73 c	51.21 b	3.02 bc	173.40 b	1.52 c	351.74 c	3.40 d	528.29 b	9.73 b	539.37 c	8.57 b		
A2	B1	28.54 ab	1.55 c	42.82 c	1.55 c	70.76 e	5.05 c	137.36 f	11.07 b	443.77 a	11.16 c	462.66 b	11.69 b		
	B2	27.04 ab	6.50 a	49.23 bc	2.78 bc	146.71 a	4.31 c	395.76 a	7.00 d	410.26 c	12.84 ab	468.27 b	11.58 b		
	B3	16.96 d	4.32 b	33.42 d	6.38 a	85.69 d	8.62 a	375.23 b	8.57 c	388.79 d	12.45 bc	396.38 d	10.45 b		
	B4	23.14 cd	3.64 bc	46.47 c	3.42 b	125.88 b	6.40 b	318.01 d	6.16 d	430.03 b	14.03 a	541.81 a	11.96 b		
	B5	30.70 a	5.24 ab	59.72 a	6.80 a	73.01 e	7.20 b	342.59 c	12.62 a	440.12 a	11.62 bc	444.90 c	11.43 b		
	B6	27.66 ab	6.27 a	56.87 ab	6.99 a	98.81 c	4.07 c	240.82 e	8.49 c	376.97 e	14.16 a	462.26 b	13.67 a		
A3	B1	18.73 ab	3.23 b	50.32 c	6.88 a	126.49 a	6.74 b	244.91 a	7.42 b	350.35 a	7.35 b	661.66 a	7.25 d		
	B2	18.73 ab	2.92 b	30.86 d	4.98 b	98.63 b	6.15 bc	172.21 b	7.79 b	369.17 e	9.34 a	420.87 d	9.56 b		
	B3	28.72 a	5.01 a	45.41 c	2.80 c	131.82 a	5.21 c	262.37 a	9.56 a	420.13 e	10.33 a	418.76 d	12.20 a		
	B4	21.52 ab	2.77 b	26.56 d	6.63 b	49.69 c	6.40 bc	146.20 b	8.18 c	570.72 c	6.61 b	534.02 b	8.89 bc		
	B5	19.60 ab	2.68 b	68.22 a	4.08 bc	97.89 b	9.12 a	274.19 a	5.76 b	498.41 b	7.17 b	515.14 b	11.62 a		
	B6	14.02 b	2.42 b	60.24 b	4.65 b	89.40 b	5.64 bc	285.81 a	5.14 c	383.57 d	9.08 a	428.59 c	7.68 cd		
因素显著性		0.034*	0.048	0.006**	0.004**	0.007**	0.024*	0.005**	0.007**	0.035*	0.056	0.021*	0.044*		
品种		0.005**	0.002**	0.073	0.008**	0.005**	0.103	0.007**	0.044*	0.003**	0.007**	0.039*	0.021*		
播期×品种		0.003**	0.007**	0.009**	0.005**	0.008**	0.022*	0.006**	0.006**	0.006**	0.009**	0.005**	0.007**		

含量差异不明显。吐丝后 20 d,随播期推迟,支链淀粉积累量 A1 品种呈降低趋势,A2 品种呈先增后降趋势,A3 品种呈增加趋势,分别在 B4、B2 和 B6 播期最高;直链淀粉含量 A1 和 A3 品种呈先增后降趋势,A2 品种呈先降后升趋势,分别在 B2、B5 和 B3 播期最高。吐丝后 25 d,随播期推迟,支链淀粉积累量 A1 和 A3 品种呈先增后降趋势,均在 B4(542.78 和

570.72 mg/g)播期最高;A2 品种在 B1(443.77 mg/g)最高。直链淀粉积累量 A2 品种呈增加趋势,在 B6 (14.16 mg/g)最高;A3 品种呈先增后降趋势,在 B3 (10.33 mg/g)播期最高;A1 品种在 B1(13.75 mg/g)、B4 (12.88 mg/g)和 B5(13.59 mg/g)播期较高。播期推迟,更加有利于子粒支直链淀粉的积累。

2.1.3 赖氨酸和叶酸

表 3 不同播期下鲜食玉米吐丝后赖氨酸和叶酸含量变化
Table 3 Lysine and folic acid content of fresh corn after silking under different sowing dates

品种 Variety	播期 Sowing date	吐丝后天数 Days after silking											
		5 d			10 d			15 d			20 d		
		赖氨酸 (mg/g)	叶 酸 (ug/100g)	Folic acid	赖氨酸 (mg/g)	叶 酸 (ug/100g)	Folic acid	赖氨酸 (mg/g)	叶 酸 (ug/100g)	Folic acid	赖氨酸 (mg/g)	叶 酸 (ug/100g)	Folic acid
A1	B1	81.23 c	82.32 a	163.91 a	68.80 e	163.91 a	70.02 d	206.99 ab	21.03 e	242.03 b	11.57 e	213.18 b	163.6a b
	B2	114.95 a	49.26 b	175.33 a	92.04 c	175.33 a	86.87 b	255.79 a	42.83 a	284.05 ab	20.70 a	151.08 c	130.28 b
	B3	76.08 c	38.83 b	102.92 b	133.75 a	102.92 b	107.78 a	225.95 a	34.69 b	190.66 c	13.16 d	219.74 b	130.2 b
	B4	104.16 b	32.77 b	91.45 b	85.88 d	91.45 b	73.17 cd	256.48 a	31.37 c	310.13 a	15.81 b	261.07 a	193.76 a
	B5	63.35 d	34.00 b	136.62 ab	88.68 cd	136.62 ab	78.56 bc	133.95 b	29.00 d	266.98 ab	13.95 c	239.50 ab	193.90 a
	B6	73.57 cd	74.93 a	172.68 a	103.67 b	172.68 a	80.00 bc	183.56 ab	31.98 c	249.97 b	20.20 a	200.02 b	144.79 b
A2	B1	101.56 b	193.17 a	264.09 ab	98.41 cd	264.09 ab	62.01 bc	298.86 b	24.21 d	352.02 a	24.87 c	330.86 a	289.99 a
	B2	128.69 a	180.22 ab	203.47 b	108.18 c	203.47 b	95.97 a	379.24 a	31.47 b	324.10 ab	34.14 b	314.79 ab	272.69 a
	B3	101.99 b	180.05 ab	250.27 ab	104.93 c	250.27 ab	69.23 b	385.90 a	34.53 b	360.17 a	35.53 b	301.53 b	249.81 ab
	B4	112.51 b	180.05 ab	250.27 ab	124.34 b	250.27 ab	98.39 a	384.90 a	44.36 a	361.17 a	46.36 a	304.53 b	247.81 ab
	B5	135.88 a	219.13 a	280.58 a	139.33 a	280.58 a	52.98 c	386.60 a	29.81 c	308.64 b	26.48 c	294.72 b	239.24 b
	B6	84.27 c	178.99 b	315.95 a	90.06 d	315.95 a	57.38 c	348.30 ab	21.36 d	370.98 a	23.03 c	332.61 a	270.58 a
A3	B1	118.08 a	68.07 b	143.95 ab	107.01 b	143.95 ab	55.00 d	201.90 b	33.44 b	289.86 a	14.36 c	207.35 b	177.22 b
	B2	86.91 d	89.45 a	121.71 b	84.91 d	121.71 b	84.68 a	166.74 c	21.98 d	286.86 a	10.35 d	208.86 b	170.44 b
	B3	111.87 b	87.27 a	155.37 ab	93.95 c	155.37 ab	63.26 c	201.41 b	27.36 c	208.25 b	17.94 b	193.86 b	174.87 b
	B4	97.40 c	88.79 a	107.14 b	117.11 a	107.14 b	42.40 e	189.34 bc	57.60 a	277.28 a	21.26 a	279.75 a	201.55 a
	B5	44.37 e	91.70 a	170.82 ab	113.53 a	170.82 ab	68.95 b	185.96 bc	27.60 c	284.12 a	13.90 c	251.74 a	224.66 a
	B6	82.75 d	93.05 a	211.27 a	77.76 e	211.27 a	62.03 c	287.48 a	22.20 d	236.87 b	14.00 c	226.85 ab	202.85 a
因素显著性		0.005**	0.042*	0.007**	0.007**	0.036*	0.008**	0.008**	0.005**	0.003*	0.006**	0.008**	0.021*
品种		0.003**	0.008**	0.008**	0.005**	0.008**	0.004**	0.005**	0.342	0.007**	0.005**	0.008**	0.008**
播期×品种		0.004**	0.006**	0.007**	0.008**	0.007**	0.007**	0.009**	0.006**	0.008**	0.004**	0.005**	0.007**

由表3可知,3个品种在6个播期下随吐丝后时间变化,子粒中赖氨酸含量均呈极显著降低趋势。吐丝后5~15 d为赖氨酸逐渐下降阶段;吐丝后15~20 d为赖氨酸快速下降阶段;吐丝后20 d后赖氨酸变化缓慢。赖氨酸含量在吐丝后各时间段,播期间差异显著,且品种间变化规律不一致。吐丝后20 d,A1、A2和A3品种随播期推迟均呈先增后降趋势,A2和A3品种均在B4(46.36和57.60 mg/g)播期最高。吐丝后25 d,A1品种随播期推迟呈先降后升趋势,在B2(20.70 mg/g)播期最高。吐丝后30 d,A1品种在B2~B4播期赖氨酸含量高,变幅为20.43~12.57 mg/g,比B1播期高;A2、A3品种在B2~B5播期赖氨酸含量高,变幅分别为23.43~14.00 mg/g和11.09~10.85 mg/g。由此可知,适当推迟播期有利于提高子粒赖氨酸含量。

叶酸含量随着吐丝后时间变化呈先增后降趋势,A2品种较A1和A3品种的叶酸含量高。A1品种

除B3播期,其他播期峰值均出现在吐丝后20 d,在B4(310.13 ug/100 g)播期最高;A2品种在B1和B6峰值出现于吐丝后20 d,其余播期峰值均出现在吐丝后15 d,以B5(386.60 ug/100 g)播期最高;A3品种除B6播期峰值在吐丝后15 d出现,其余播期均出现在吐丝后20 d。播期推迟更有利于鲜食玉米子粒叶酸的积累。

2.1.4 可溶性糖

由表4可知,鲜食玉米子粒可溶性糖含量,随吐丝后时间变化呈先增后降趋势。A1品种除B3播期外峰值均出现在吐丝后15 d,以B2(105.52 mg/g)最高。A2品种峰值在B1、B2和B3播期于吐丝后15 d出现,B4、B5和B6峰值在吐丝后20 d出现,其峰值以B1(108.57 mg/g)最高;吐丝后25 d(收获期),以B5(102.64 mg/g)播期最高。A3品种峰值均出现在吐丝后15 d,以B6(96.80 mg/g)最高;吐丝后25 d(收获期),以B4(82.63 mg/g)播期最高。

表4 不同播期下鲜食玉米吐丝后可溶性糖含量变化

Table 4 Soluble sugar content of fresh corn after silking under different sowing dates

mg/g

品 种 Variety	播 期 Sowing date	吐丝后天数 Days after silking					
		5 d	10 d	15 d	20 d	25 d	30 d
A1	B1	69.12 a	72.18 b	102.18 a	78.70 ab	85.95 ab	88.65 a
	B2	59.50 a	70.73 b	105.52 a	71.86 b	91.37 a	81.40 ab
	B3	60.70 a	82.93 a	92.22 b	98.01 a	79.92 ab	76.71 b
	B4	69.76 a	75.81 ab	83.99 c	74.00 b	74.40 b	77.51 b
	B5	64.78 a	76.32 ab	98.41 ab	80.58 ab	80.42 ab	78.05 b
	B6	70.29 a	80.91 a	92.56 b	83.11 ab	78.55 ab	75.24 b
A2	B1	59.72 b	62.84 b	108.57 a	93.30 b	96.22 b	81.55 a
	B2	65.38 ab	70.14 ab	107.39 a	86.62 b	100.15 a	96.66 a
	B3	58.85 b	75.17 ab	101.86 a	87.29 b	84.81 b	84.87 a
	B4	71.88 a	84.73 a	88.39 b	103.77 a	102.89 a	91.47 a
	B5	63.31 ab	82.65 a	103.96 a	107.73 a	102.64 a	80.54 a
	B6	64.57 ab	80.84 a	86.04 b	102.13 a	99.13 ab	87.20 a
A3	B1	59.11 a	61.22 b	90.94 a	71.99 ab	68.95 b	65.13 a
	B2	61.35 a	73.55 a	84.25 a	77.06 a	76.86 ab	71.59 a
	B3	61.57 a	69.24 a	86.43 a	79.81 a	71.90 b	77.03 a
	B4	52.37 a	69.22 a	91.65 a	73.72 ab	82.63 a	73.15 a
	B5	59.98 a	54.97 b	90.39 a	75.82 ab	75.94 ab	77.99 a
	B6	61.54 a	70.45 a	96.81 a	68.42 b	72.61 b	73.93 a
因素显著性	播期	0.041*	0.047*	0.045*	0.034**	0.037*	0.049*
	品种	0.009**	0.005**	0.006**	0.008**	0.035*	0.042*
	播期×品种	0.007**	0.006**	0.007**	0.005**	0.008**	0.009**

2.2 气象因子与品质指标灰色关联度分析

将品种指标作为母序列,气象因子作为特征序列,以0.5的分辨系数进行灰色关联度分析(表5)。

由表5可知,日均温对子粒粗蛋白和叶酸含量影响最大,关联系数分别为0.719、0.658;降雨量对直链淀粉和赖氨酸的影响最大,关联系数分别为0.693和

表5 气象因子与品质指标灰色关联度分析

Table 5 Grey correlation analysis between meteorological factors and quality indicators

品质指标 Quality indicator	日均温 Daily mean temperature	降雨量 Rainfall	日照时数 Sunshine hours	有效积温 Effective accumulated temperature
粗蛋白	0.719	0.670	0.645	0.681
排 名	1	3	4	2
粗脂肪	0.659	0.651	0.654	0.670
排 名	2	4	3	1
支链淀粉	0.626	0.594	0.669	0.658
排 名	3	4	1	2
直链淀粉	0.690	0.693	0.692	0.684
排 名	3	1	2	4
可溶性糖	0.663	0.715	0.733	0.666
排 名	4	2	1	3
赖氨酸	0.622	0.641	0.616	0.638
排 名	3	1	4	2
叶 酸	0.658	0.626	0.620	0.657
排 名	1	3	4	2

注:分辨系数为0.5。
Note: Distinguishing coefficient: 0.5.

0.641;日照时数对支链淀粉含量和可溶性糖含量影响最大,关联系数分别为0.669和0.733;有效积温对粗脂肪含量影响最大,关联系数为0.670。

2.3 气象因子与品质的关系

2.3.1 日均温与品质的回归分析

以日均温为自变量,各营养品质指标含量为因变量,进行回归分析。由图2可知,日均温与粗蛋白含量呈极显著线性相关,与直链淀粉和叶酸含量呈显著线性正相关,子粒的粗蛋白、直链淀粉和叶酸含量,均随日均温的升高而升高 $[y(\text{粗蛋白含量})=2.402\ 98+5.779\ 92x; y(\text{直链淀粉含量})=-4.287\ 6+0.469\ 78x; y(\text{叶酸含量})=-116.116\ 44+18.972\ 49x]$ 。日均温与粗脂肪和可溶性糖含量呈极显著或显著非线性增长关系,粗脂肪含量在日均温小于19.45℃时随日均温的升高呈增加趋势,大于19.45℃后随日均温的升高呈降低趋势;可溶性糖含量在日均温小于19.77℃呈降低趋势,大于19.77℃后呈缓慢增加趋势 $[y(\text{粗脂肪含量})=-533.942\ 53+60.870\ 97x-1.564\ 68x^2; y(\text{可溶性糖含量})=907.799\ 88-83.940\ 97x+2.122\ 81x^2]$ 。日均温与支链淀粉含量和赖氨酸含量无显著相关性。

2.3.2 降雨量与品质的回归分析

以降雨量为自变量,各营养品质指标含量为因变量,进行回归分析。由图3可知,降雨量与粗蛋白含量呈显著非线性增长关系。粗脂肪含量,在降雨

量小于470.31 mm时呈升高趋势,大于470.31 mm后呈降低趋势 $[y(\text{粗脂肪含量})=-151.815\ 47+0.886\ 26x-9.422\ 07E-4x^2]$ 。降雨量与可溶性糖含量呈显著线性负相关,随降雨量增加,可溶性糖含量呈降低趋势 $[y(\text{可溶性糖含量})=110.008\ 27-0.060\ 49x]$ 。赖氨酸含量与降雨量呈显著正相关,其含量随着降雨量的增加而升高 $[y(\text{赖氨酸含量})=5.801\ 02+0.023\ 22x]$ 。粗蛋白、支链淀粉、直链淀粉和叶酸含量与降雨量变化相关性不显著。

2.3.3 日照时数与品质的回归分析

以日照时数为自变量,各营养品质指标含量为因变量,进行回归分析。由图4可知,粗蛋白和粗脂肪含量与日照时数呈极显著或显著负相关, $y(\text{粗蛋白含量})=198.873\ 58-0.261\ 07x; y(\text{粗脂肪含量})=82.973\ 62-0.085\ 73x$ 。可溶性糖含量与日照时数呈显著正相关, $y(\text{可溶性糖含量})=46.525\ 76+0.108\ 31x$ 。直链淀粉、赖氨酸和叶酸含量呈极显著非线性增长关系,直链淀粉和叶酸含量随日照时数增加呈先增后降趋势 $[y(\text{直链淀粉含量})=288.864\ 01-1.696\ 86x+0.002\ 52x^2; y(\text{叶酸含量})=8\ 179.638\ 21-47.160\ 24x+0.069\ 71x^2]$ 。赖氨酸含量呈先增后降趋势, $y(\text{赖氨酸含量})=-247.418\ 77+1.649\ 73x-0.002\ 56x^2$ 。日照时数与支链淀粉含量相关性不显著。

2.3.4 有效积温与品质的回归分析

以有效积温为自变量,各营养品质指标含量为

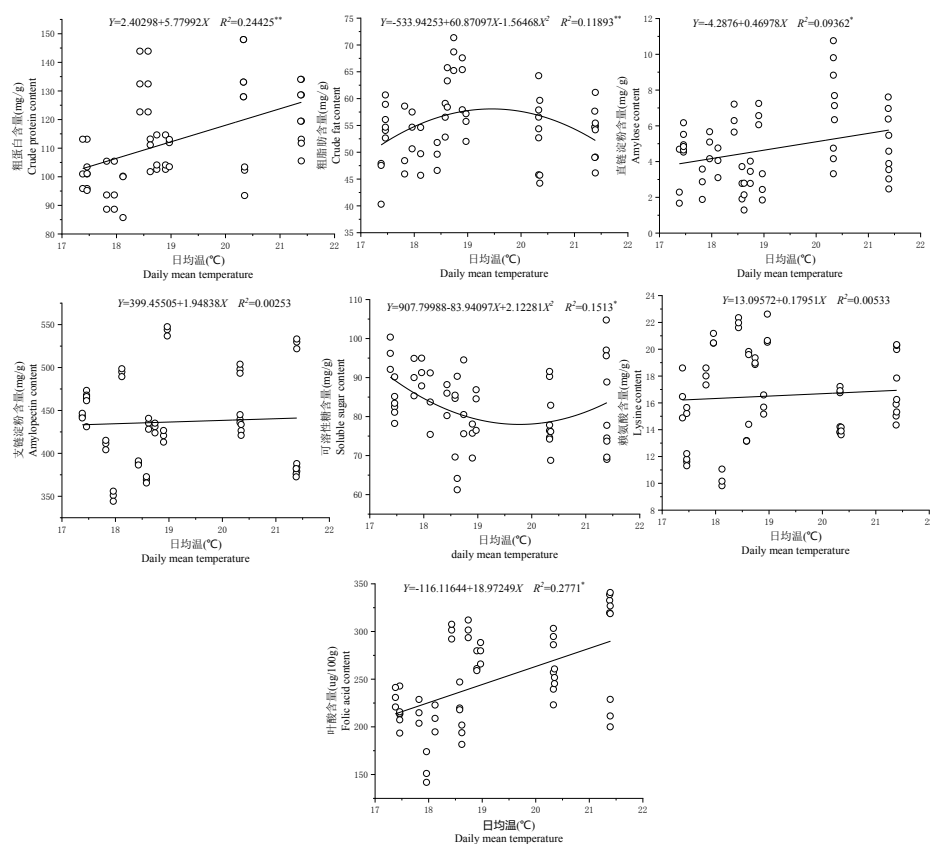


图2 日均温与品质的回归分析

Fig.2 Regression analysis of daily average temperature and quality

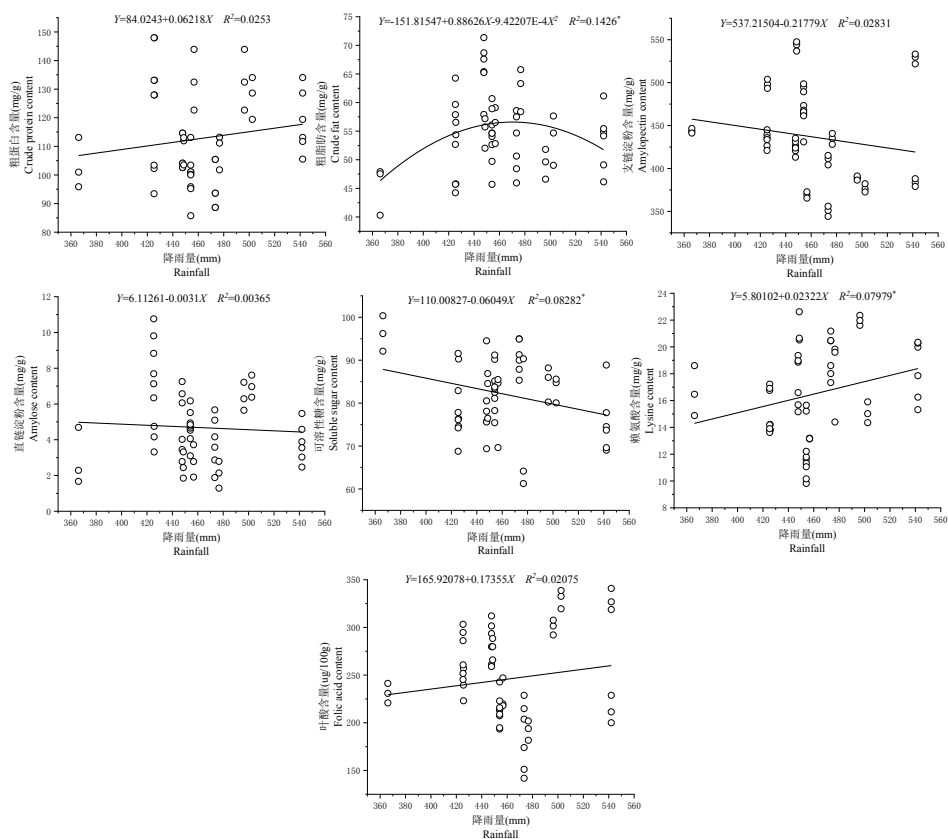


图3 降雨量与品质的回归分析

Fig.3 Regression analysis of rainfall and quality

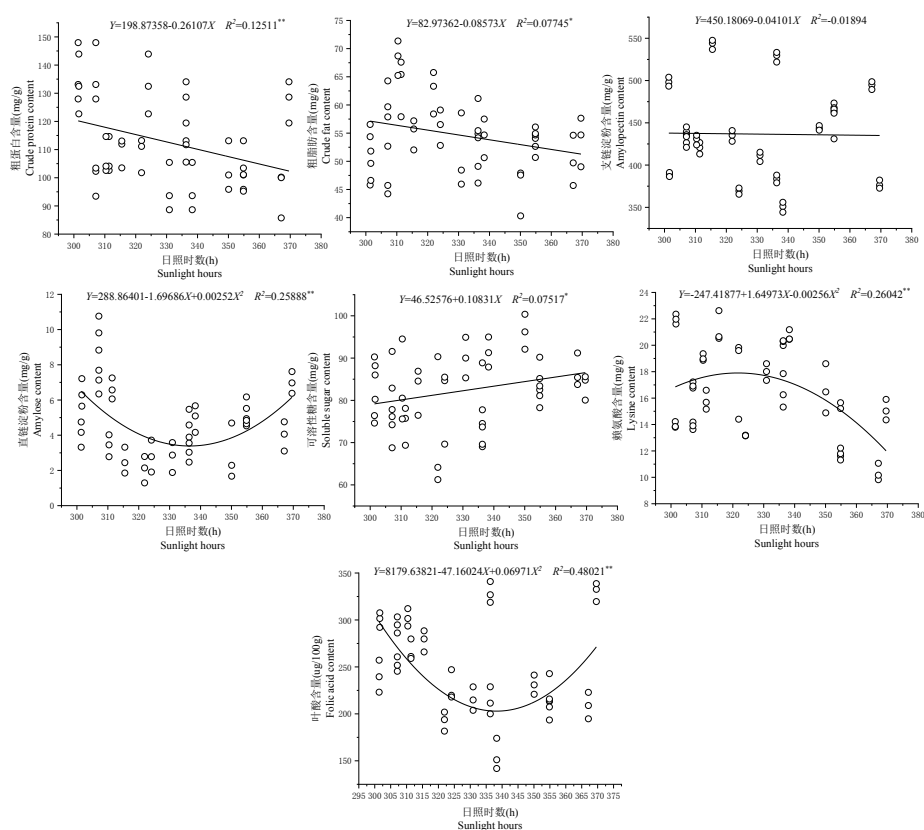


图4 日照时数与品质的回归分析

Fig.4 Regression analysis of sunshine hours and quality

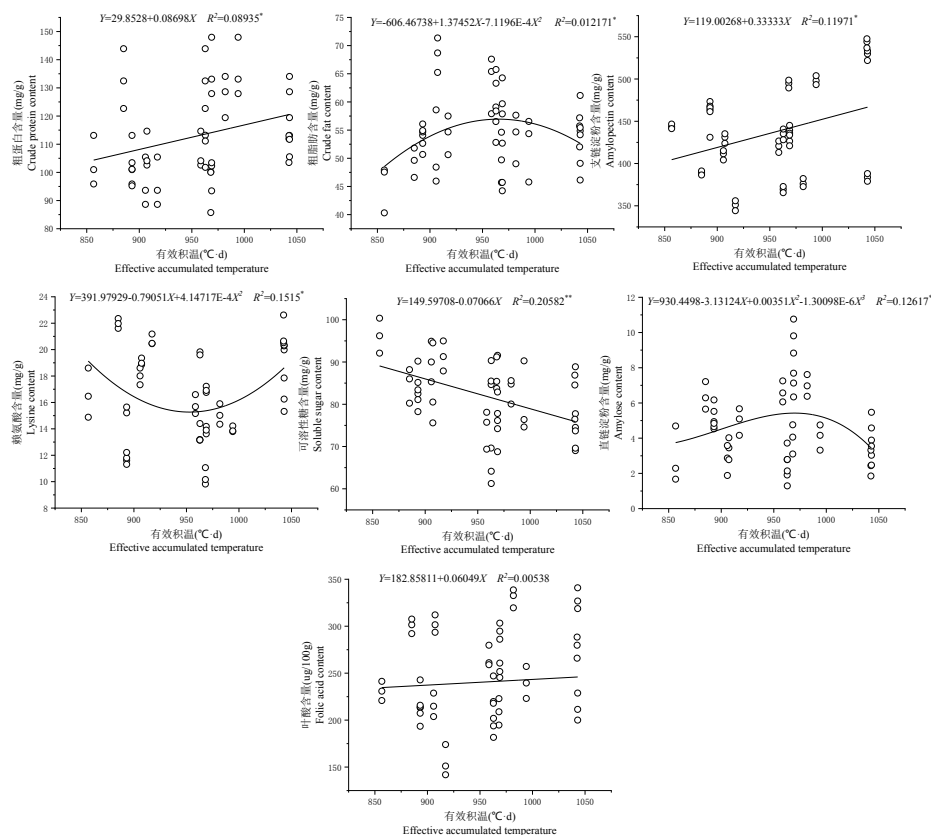


图5 有效积温与品质的回归分析

Fig.5 Regression analysis of effective accumulated temperature and quality

因变量,进行回归分析。由图5可知,粗蛋白和支链淀粉含量与有效积温呈显著线性正相关 $[y(\text{粗蛋白含量})=29.852\ 8+0.086\ 98x;y(\text{支链淀粉含量})=119.002\ 68+0.333\ 33x]$;可溶性糖含量与有效积温呈显著线性负相关 $[y(\text{可溶性糖含量})=149.597\ 08-0.070\ 66x]$ 。粗蛋白、直链淀粉和赖氨酸含量与有效积温呈显著非线性增长关系,粗脂肪和直链淀粉含量随有效积温的增加呈先增后降趋势,粗脂肪含量在有效积温 $965.31\ ^\circ\text{C}\cdot\text{d}$ 时最高,直链淀粉含量在 $957.32\ ^\circ\text{C}\cdot\text{d}$ 时最高。叶酸含量与有效积温无显著相关性。

3 结论与讨论

鲜食玉米子粒粗脂肪、支链淀粉和直链淀粉含量随吐丝后时间变化呈增加趋势,粗蛋白和赖氨酸含量呈降低趋势,可溶性糖和叶酸含量呈先增后降趋势。从气象因子分析,有效积温和日均温是影响粗蛋白、粗脂肪和叶酸的主要气象因子,日照时数和有效积温是影响支链淀粉含量的主要气象因子,日照时数和降雨量是影响直链淀粉和赖氨酸含量的主要气象因子。日照时数与粗蛋白和粗脂肪含量呈极显著或显著线性负相关;与赖氨酸呈显著先降后升的非线性相关;与直链淀粉和叶酸含量呈显著先增后降的非线性相关。有效积温与粗蛋白和支链淀粉均呈显著线性正相关;与粗脂肪和直链淀粉含量呈显著先增后降非线性相关,与赖氨酸呈显著先降后升非线性相关。

3.1 播期对鲜食玉米营养品质的影响

子粒组分含量是评价鲜食玉米营养品质的重要指标之一,适宜播期对改善子粒组分、提高玉米营养品质具有重要调控作用。不适宜播期会打破子粒碳氮代谢平衡,抑制淀粉合成相关酶活性,进而导致淀粉和蛋白质等子粒组分的积累发生改变^[21]。许佳琦等研究发现,随着播期的推迟,子粒中的可溶性蛋白、可溶性糖、油分和粗淀粉含量先升高后降低,粗蛋白含量降低,晚播处理的玉米淀粉含量高于早播处理,淀粉含量呈增加趋势。冯颖竹等对南方秋播鲜食玉米主要品质成分的影响研究发现,播期没有明显改变鲜食玉米灌浆期间子粒中主要品质成分的变化趋势,但对主要品质成分的含量影响很大。早播鲜食玉米灌浆期子粒中可溶性蛋白、粗蛋白、脂肪、淀粉的平均含量分别比晚播的高,早播子粒脱水率比晚播的高^[22]。本研究表明,随吐丝后生育进程的推进,鲜食玉米子粒粗脂肪、支链淀粉和直链淀粉含量呈增加趋势;粗蛋白和赖氨酸含量呈降低趋势;可溶性糖和叶酸含量呈先增后降趋势。鲜食玉米营

养品质的形成受播期影响显著,随播期推迟收获期子粒粗脂肪、支链/直链淀粉、赖氨酸、可溶性糖和叶酸含量呈不同程度增加趋势。因此,适时晚播是提高子粒赖氨酸含量、改善鲜食玉米品质的重要调控措施。

3.2 气象因子对鲜食玉米品质的影响

播期的变化会引起玉米生育期间光照、温度、水分等外界气象因子的变化。充足的光照、适宜的温度以及降雨量有利于促进玉米子粒品质的提高。张吉旺等^[23]研究发现,花粒期遮荫玉米的粗蛋白和赖氨酸含量显著升高;粗脂肪、淀粉含量显著降低。随着光照强度的减小对子粒品质的影响加剧,不同时期遮荫对玉米子粒品质的影响显著大于不同遮荫程度对玉米子粒品质的影响。玉米是喜光作物,授粉后 $10\ ^\circ\text{C}$ 以上的有效积温更有利于淀粉和蛋白质等营养物质的积累。本研究表明,有效积温与粗脂肪和直链淀粉含量呈显著非线性增长关系,粗脂肪和直链淀粉含量随有效积温的增加呈先增后降趋势;与粗蛋白和支链淀粉呈线性显著正相关;与可溶性糖含量呈负相关;与赖氨酸呈先降后升非线性显著相关。光照强度和时长对植株光合特性和子粒碳氮物质的积累具有显著影响。本研究表明,日照时数与粗蛋白和粗脂肪含量呈极显著或显著负相关;与直链淀粉、赖氨酸和叶酸含量呈极显著非线性增长关系,赖氨酸、直链淀粉和叶酸含量随日照时数增高呈先增后降趋势。灌浆期干旱不仅会影响玉米灌浆速率和灌浆时长,还会影响子粒光合同化物的积累。本研究发现,降雨量与粗脂肪含量呈显著非线性增长关系,粗脂肪含量在降雨量小于 $470.31\ \text{mm}$ 时呈升高趋势,大于 $470.31\ \text{mm}$ 时呈降低趋势;与可溶性糖含量呈显著线性负相关,与赖氨酸含量呈显著线性正相关^[24]。综上可知,不同播期匹配的气象因子不同,是鲜食玉米子粒品质在播期间产生差异的主要原因,鲜食玉米子粒粗蛋白、粗脂肪、支链淀粉、可溶性糖、赖氨酸、叶酸等含量峰值均出现在B3播期后。因此,本试验条件下播期适当推迟有利于鲜食玉米形成更佳的营养品质。

参考文献:

- [1] 赵久然,卢柏山,史亚兴,等.我国糯玉米育种及产业发展动态[J].玉米科学,2016,24(4):67-71.
ZHAO J R, LU B S, SHI Y X, et al. Development trends of waxy corn breeding and industry in China[J]. Journal of Maize Sciences, 2016, 24(4): 67-71. (in Chinese)
- [2] 黎顺友.玉米种植现状与新技术应用的效率分析[J].农村经济与科技,2018,29(2):38-39.
LI S Y. Efficiency analysis of corn cultivation status and new tech-

- nology application[J]. Rural Economy and Science- Technology, 2018, 29(2): 38-39. (in Chinese)
- [3] 徐 丽,赵久然,卢柏山,等. 我国鲜食玉米种业现状及发展趋势[J]. 中国种业, 2020(10): 14-18.
XU L, ZHAO J R, LU B S, et al. Current situation and development trend of fresh corn seed industry in China[J]. China Seed Industry, 2020(10): 14-18. (in Chinese)
- [4] KADAM N N, GUI X, MELGAR R J, et al. Chapter three-agronomic and physiological responses to high temperature, drought, and elevated CO₂ interactions in cereals[J]. Advances in Agronomy, 2014, 127: 111-156.
- [5] ABOUBACAR A, MOLDENHAUER K, MCCLUNG A M, et al. Effect of growth location in the united states on amylose content, amylopectin fine structure, and thermal properties of starches of long grain rice cultivars[J]. Cereal Chemistry, 2006, 83(1): 93-98.
- [6] AMAKAWA H, HIROSE T, KURODA M, et al. Comprehensive expression profiling of rice grain filling-related genes under high temperature using DNA microarray[J]. Plant Physiology, 2007, 144(1): 258-277.
- [7] 冯颖竹,陈惠阳,余土元. 鲜食糯玉米春季播种期试验研究[J]. 北方园艺, 2007(6): 45-47.
FENG Y Z, CHENG H Y, YU S Y. Study on spring sowing date of waxy maize[J]. Northern Horticulture, 2007(6): 45-47. (in Chinese)
- [8] 黄天琪. 结实期高温与水分胁迫对糯玉米淀粉品质的影响研究[D]. 扬州:扬州大学, 2018.
- [9] 杨 欢,沈 鑫,陆大雷,等. 子粒建成期高温胁迫持续时间对糯玉米子粒产量和淀粉品质的影响[J]. 中国农业科学, 2017, 50(11): 2071-2082.
YANG H, SHEN X, LU D L, et al. Effects of heat stress durations at grain formation stage on grain yield and starch quality of waxy maize [J]. Scientia Agricultura Sinica, 2017, 50(11): 2071-2082. (in Chinese)
- [10] 许佳琦,钱 聪,孙彦坤,等. 不同播期对玉米产量和品质的影响[J]. 黑龙江农业科学, 2019(8): 32-34.
XU J Q, QIAN C, SUN Y S, et al. Effects of different sowing date on yield and quality of maize[J]. Heilongjiang Agricultural Sciences, 2019(8): 32-34. (in Chinese)
- [11] 邢江会,郝建平,杜天庆,等. 播期对玉米品质的影响[J]. 山西农业科学, 2013, 41(4): 345-347.
XIN J H, HAO J P, DU T Q, et al. Influence of sowing date on maize quality[J]. Journal of Shanxi Agricultural Sciences, 2013, 41(4): 345-347. (in Chinese)
- [12] 冯颖竹,陈惠阳,余土元,等. 播种期对南方秋播糯玉米主要品质成分的影响[J]. 中国农业气象, 2006(2): 142-146.
FENG Y Z, CHEN H Y, YU T Y, et al. Influence of sowing date on main components of waxy maize sowed in autumn in south China [J]. Chinese Journal of Agrometeorology, 2006(2): 142-146. (in Chinese)
- [13] 李少昆,刘永红,李 晓,等. 南方地区甜、糯玉米田间种植手册[M]. 北京:中国农业出版社, 2013.
- [14] 严定春,朱 艳,曹卫星. 水稻栽培适宜品种选择的知识模型[J]. 南京农业大学学报, 2004(4): 20-25.
YAN D C, ZU Y, CAO W X. A knowledge model for selection of suitable variety in rice production[J]. Journal of Nanjing Agricultural University, 2004(4): 20-25. (in Chinese)
- [15] 张述伟,宗营杰,方春燕,等. 蒽酮比色法快速测定大麦叶片中可溶性糖含量的优化[J]. 食品研究与开发, 2020, 41(7): 196-200.
ZHANG S W, ZON Y J, FANG C Y, et al. Optimization of anthrone colorimetric method for rapid determination of soluble sugar in barley leaves[J]. Food Research and Development, 2020, 41(7): 196-200. (in Chinese)
- [16] 宋 碧,冯跃华. 作物栽培学与耕作学实验指导[G]. 贵阳:贵州大学出版社, 2017.
- [17] 叶 立,田义梅. 紫外分光光度法测定叶酸片的含量[J]. 天津药学, 2000, 12(3): 2.
YE L, TIAN Y M. Determination of content of folic acid by Uv[J]. Tianjin Pharmacy, 2000, 12(3): 64-65. (in Chinese)
- [18] 钟红舰,魏 红,汪 红. 索氏抽提法测定粗脂肪含量的改进[J]. 中国饲料, 2004(12): 35-36.
ZHONG H J, WEI H, WANG H. Improvement of the soxhlet extraction method for determining crude fat content [J]. China Feed, 2004(12): 35-36. (in Chinese)
- [19] 鲁如坤. 土壤农业化学分析方法[M]. 北京:中国农业科技出版社, 1999.
- [20] 金玉红,张开利,张兴春,等. 双波长法测定小麦及小麦芽中直链、支链淀粉含量[J]. 中国粮油学报, 2009(1): 144-147.
JIN Y H, ZHANG K L, ZHANG X C, et al. Determination of amylose and amylopectin in wheat and wheat malt by dua-wavelength spectrophotometry[J]. Journal of the Chinese Cereals and Oils, 2009(1): 144-147. (in Chinese)
- [21] 杨嗣玲. 不同播期和氮水平下结实期干旱弱光胁迫对糯玉米子粒产量和品质的影响[D]. 扬州:扬州大学, 2023.
- [22] 郝小琴,梁树辉,赵文涛,等. 春播和秋播对紫黑甜糯玉米产量和可溶性总糖含量的影响[J]. 种子, 2020, 39(12): 125-127.
HAO X Q, LIAN S H, ZHAO W T, et al. Effects of spring and autumn sowing on yield and soluble sugar content of purple sweet-waxy corn[J]. Seed, 2020, 39(12): 125-127. (in Chinese)
- [23] 张吉旺. 光温胁迫对玉米产量和品质及其生理特性的影响[D]. 泰山:山东农业大学, 2005.
- [24] 马兴林,崔震海,陈 杰,等. 玉米苗期干旱胁迫对子粒粗蛋白和赖氨酸含量的影响[J]. 玉米科学, 2006, 14(2): 71-74.
MA X L, CUI Z H, CHEN J, et al. Effect of drought stress during seedling stage on the content of grain crude protein, and lysine of maize[J]. Journal of Maize Sciences, 2006, 14(2): 71-74. (in Chinese)

(责任编辑:姜媛媛)