

不同生态区域向日葵油酸含量对气候因子的响应规律

于海峰¹, 牟英男¹, 李美娜², 李素萍¹, 聂惠¹, 郭树春¹

(1 内蒙古自治区农牧业科学院, 呼和浩特, 010031; 2 呼和浩特市农牧技术推广中心, 呼和浩特, 010020)

摘要: 该研究以内蒙古自治区农牧业科学院选育的 3 个向日葵品种‘NKZ4’、‘NK244’和‘NK175’为试验材料, 于 2014 和 2015 年在陕西武功、山西介休、内蒙古呼和浩特、辽宁沈阳、吉林长春、新疆乌鲁木齐和黑龙江齐齐哈尔 7 个不同生态条件的向日葵主产省区种植, 测定各种植区主要环境气候因子以及各品种籽粒中油酸等脂肪酸组含量, 分析向日葵籽实油酸含量对气候因子的响应规律, 并确定关键影响因子, 探究气候因子对向日葵油酸形成的影响机理。结果表明: (1) 不同生态区间向日葵品种籽实的脂肪酸含量差异较大, 其油酸含量总体变化趋势为随纬度的增加而降低。(2) 气候因子中日照时数、日均最高气温、日均最低气温、日均气温 4 个因子与向日葵油酸含量密切相关。(3) 在向日葵各生育阶段和全生育期, 籽实油酸含量与日照时数均呈显著负相关关系, 与日均最高气温、日均气温呈显著正相关关系; 在现蕾-开花阶段, 油酸含量与平均风速呈显著负相关关系; 在开花-成熟阶段和全生育期, 油酸含量与日均最低气温呈显著正相关关系。研究发现, 向日葵籽实油酸含量受种植区日均最高气温和日均气温影响最大, 日均最高气温、日均气温升高 5 °C, 籽实油酸含量由 20% 可上升至 40%。

关键词: 向日葵; 油酸; 气候因子; 响应

中图分类号: Q945.78; S565.6 **文献标志码:** A

Response Law of Sunflower Oleic Acid Content to Climate Factors under Different Ecological Areas

YU Haifeng¹, MU Yingnan¹, LI Meina², LI Suping¹, NIE Hui¹, GUO Shuchun¹

(1 Inner Mongolia Academy of Agriculture and Animal Husbandry Sciences, Hohhot 010031, China; 2 Hohhot Agriculture and Animal Husbandry Technology Promotion Center, Hohhot 010020, China)

Abstract: Three sunflower varieties ‘NKZ4’, ‘NK244’ and ‘NK175’ bred by Inner Mongolia Academy of Agricultural and Animal Husbandry Sciences were selected as experimental materials. In 2014 and 2015, the main environmental climate factors and oleic acid and other fatty acid components in sunflower seeds of different varieties were observed in wugong of Shaanxi Province, Jiexiu of Shanxi Province, Hohhot of Inner Mongolia, Shenyang of Liaoning Province, Changchun of Jilin Province, Urumqi of Xinjiang Province and Qiqihar of Heilongjiang Province for clarifying the response law of sunflower oleic acid content to climate factors, identifying the key influencing factors, and exploring the mechanism of climate factors on sunflower oleic acid formation. The results showed that: (1) the fatty acid content of sunflower seeds varied greatly in different ecological regions, and the oleic acid content decreased with the increase of latitude. (2) Among the climatic factors, sunshine duration, daily maximum temperature, daily minimum tempera-

收稿日期: 2021-11-15; 修改稿收到日期: 2022-07-25

基金项目: 财政部和农业农村部国家现代农业产业技术体系

作者简介: 于海峰(1980-), 男, 博士, 研究员, 主要从事向日葵遗传育种与栽培研究。E-mail: nkyyhf@163.com

ture and daily average temperature were closely related to sunflower oleic acid content. (3) There was a significant negative correlation between oleic acid content and sunshine duration, and a significant positive correlation between oleic acid content and average daily maximum temperature and average daily temperature in all growth stages and whole growth stages of sunflower. Oleic acid content was negatively correlated with mean wind speed in bud-flowering stage. There was a significant positive correlation between oleic acid content and average daily minimum temperature in flowering and maturation stage and whole growth stage. The results showed that the content of oleic acid in sunflower seeds was most affected by the average daily maximum temperature and average daily temperature in the planting area. When the average daily maximum temperature and average daily temperature increased by 5 °C, the content of oleic acid in sunflower seeds increased from 20% to 40%.

Key words: sunflower; oleic acid; climatic factor; response

向日葵(*Helianthus annuus* L.)是重要的油料作物^[1-2],主要分为油用、食用和中间型三类,油用向日葵主要用于提取植物油即葵花油,食用向日葵主要用于休闲食品即嗑食。向日葵籽中脂肪酸组分及配比直接影响向日葵油的品质^[3-5],油酸、亚油酸、棕榈酸和硬脂酸含量之和占总脂肪酸含量的99%以上,其中油酸、亚油酸属于不饱和脂肪酸,具有很好的保健功能,二者总含量约占85%以上^[6]。向日葵种子形成过程中油酸、亚油酸含量变化较明显,而棕榈酸、硬脂酸等饱和脂肪酸变化不明显。研究表明,向日葵油酸含量与亚油酸含量存在极显著负相关,且两者总量相对稳定。油酸在氧化稳定性上比亚油酸、 α -亚麻酸等多不饱和脂肪酸高,能够减少氧化和酸败而延长油的贮存期^[7],高油酸向日葵油相对稳定性更好^[8],它不仅适用于家庭烹调,也适用于要求存放时间较长的糕点以及快餐类食品等。油酸具有降低血浆中胆固醇、抑制低密度脂蛋白(LDL)氧化的作用^[9],能够减少动脉硬化疾病的发生^[10]。从特性来看,具有优良稳定性的高油酸向日葵油更适于用作调味用的生食油、煎炸油和炒菜油,具有长期保存不易劣化的特点。因此,提高油脂中油酸含量是未来对食用油品质的重要要求。中国食用油市场缺口较大^[11],生产上应用的向日葵品种油酸含量较低,普遍为20%~30%,亚油酸含量较高,约65%左右,有的超过70%^[12];而法国、美国等欧美向日葵主要生产国生产上应用的向日葵品种油酸含量高,普遍为60%以上,亚油酸含量低^[13]。目前,美国向日葵生产上主要种植NuSun向日葵^[14]。NuSun是美国农业研究局遗传学家和生物化学家们选育出的一种油酸较高的向日葵杂交种,油酸含量稳定在60%~75%之间,一般在60%~65%,饱和脂肪酸的含量在8%~9%,富含维生素E。

目前,中外学者已开展了大量关于大豆、油菜、

花生、芝麻等油料作物油脂和脂肪酸方面的研究,但向日葵领域的研究主要集中在农艺性状遗传^[15]、病害^[16]、栽培生理^[17]、分子生物学^[18]等方面,在产量、含油率以及水、肥调控等方面也有大量报道,取得了一定的进展。然而关于向日葵种籽品质形成机制的相关研究报道较少,涉及品种的油酸、亚油酸含量以及调控机理的相关研究更是鲜见报道。另外,向日葵籽油脂脂肪酸含量的变化除品种本身基因型的原因外,很大程度上受外界环境条件的影响,不同种植区域、气候条件、栽培措施,如施肥、灌水都会对脂肪酸含量造成影响,但不同外界条件对脂肪酸的影响程度不同,相比较而言,气候因素对脂肪酸的影响更大。迄今,国内外对不同栽培、灌溉措施及施肥影响向日葵籽粒产量和油品质的研究较多^[19-24]。但是有关气候因素对向日葵籽油油酸等脂肪酸的研究较少,影响油酸合成的关键气候因子尚不明确,不同气候条件影响向日葵油酸形成的机理研究也几乎处于空白状态。因此,本研究连续两年在中国不同生态条件的7个向日葵主产省区开展相关试验,以明确向日葵籽油油酸对不同气候因子的响应机制,为高油酸材料的引种和不同生态区间穿梭育种提供参考,切实解决向日葵生产中的问题,指导高油酸向日葵生产和种植区划,高效合理利用农业资源,提升向日葵产品质量。

1 材料和方法

1.1 试验材料

选用3个向日葵品种‘NKZ4’(‘内葵杂4号’)、‘NK244’和‘NK175’为试验材料,均由内蒙古自治区农牧业科学院选育。其中,‘内葵杂4号’生育期98 d,株高170~190 cm,花盘直径20 cm,百粒重5.6~6.5 g,籽仁率75.7%,籽实粗脂肪含量为46.73%;‘NK244’生育期102 d,株高194 cm,花盘

表 1 各地区试验点经纬度与海拔

Table 1 Latitude, longitude and altitude of test sites in various regions

试点号 Number	试验地点 Test site	纬度 Latitude	经度 Longitude	海拔 Altitude/m
I	陕西省武功县 Wugong, Shaanxi	N34.15°	E108.13°	447.8
II	山西省介休市 Jiexiu, Shanxi	N37.02°	E111.55°	743.9
III	内蒙古呼和浩特市 Hohhot, Inner Mongolia	N40.49°	E111.41°	1 063
IV	辽宁省沈阳市 Shenyang, Liaoning	N41.44°	E123.31°	49
V	新疆乌鲁木齐市 Urumqi, Xinjiang	N43.47°	E87.39°	935
VI	吉林省长春市 Changchun, Jilin	N43.54°	E125.13°	236.8
VII	黑龙江省齐齐哈尔市 Qiqihar, Heilongjiang	N47.23°	E123.55°	147.1

直径 20.3 cm, 百粒重 6.2 g, 籽仁率 73.2%, 籽实粗脂肪含量为 46.82%; ‘NK175’ 生育期 100 d, 株高 197.7 cm, 花盘直径 20 cm, 百粒重 6.7 g, 籽仁率 70.4%, 籽实粗脂肪含量为 45.31%。

1.2 试验设计

试验于 2014—2015 连续两年在中国不同生态条件的 7 个向日葵主产省区进行, 地点分别设在陕西省武功县、山西省介休市、内蒙古呼和浩特市、辽宁省沈阳市、吉林省长春市、新疆乌鲁木齐市和黑龙江省齐齐哈尔市(表 1)。

各试验点统一采用随机区组设计, 3 次重复, 5 行区, 密度 47 625 株/hm², 小区面积 24.5 m²。各试验点施肥量一致, 即种肥施用磷酸二铵 375 kg/hm², 现蕾期进行施肥浇水, 追施尿素 300 kg/hm², 具体施肥量折算成小区用量(小区面积 24.5 m², 每小区施磷酸二铵 0.92 kg, 施尿素 0.73 kg)。

1.3 观测内容及方法

1.3.1 生育期记载 观察、记载向日葵播种期、现蕾期、开花期和成熟期等生育期。

1.3.2 样品采集及品质测定 每个品种从每个重复的小区边行, 开花前选整齐一致的 8 个植株进行套袋, 避免外来花粉的混杂, 开花后混合授粉, 混合收获, 用做粗脂肪及脂肪酸含量测定。籽粒样品统一送至内蒙古农产品质量检测中心进行品质测定。品质测定采样均为 3 次重复。粗脂肪含量测定采用索氏提取法, 检测依据国家标准: 粗脂肪(干基)GB/T 5512—2008; 脂肪酸含量测定采用国家标准: 亚油酸、油酸、棕榈酸、硬脂酸、亚麻酸 GB 5009.168—2016 第三法。

1.4 气象数据来源

气象数据来源于中国气象数据网。

1.5 数据处理

采用 Microsoft Excel 2007、SPSS13.0、GGEbiplot 软件进行数据处理和统计分析, 使用 Microsoft Excel 2007、Sigma Plot 10.0 和 GGEbiplot 软件绘图。GGE 双标图法是分析基因型与环境型互动的一种新的方法^[25-27]。以图解的方式, 借助辅助线能够有效地反映出品种在不同环境下的产量和品质表现, 有利于鉴别出理想性状的适宜环境以及各指标的相互关系。从原点到每个指标的连线作为指标向量, 用指标向量和相邻指标间的夹角可以直观地判断各指标间的相关性。以某一个指标向量为起始, 顺时针方向旋转, 夹角的余弦值即为两个指标的相关系数^[28]。

2 结果与分析

2.1 不同种植区域气候因子比较

7 个种植区域向日葵生长全生育期内的平均风速、日照时数、日均最高气温、日均最低气温、气温日较差、日均气温、相对湿度、大气压、降水量、积温等 10 个气候因子方差分析结果(表 2)表明, 10 个气候因子均受到区域环境的显著影响, 但影响程度有所不同。其中, 平均风速、日照时数、气温日较差、相对湿度和大气压受区域环境影响程度较大, 且至少在 5 个种植区域之间表现出显著差异, 尤其是大气压在 7 个种植区域之间均存在显著性差异; 日均最高气温、日均最低气温、日均气温和积温则受区域环境影响相对较小, 最多有 4 个不同种植区域之间表现为显著差异, 尤其是积温所受区域环境影响最小, 除沈阳积温略低外, 其他各区域之间差异均不显著, 说明一个向日葵品种生长发育所需要的积温是相对固定的。

表 2 向日葵不同种植区域的气候因子

Table 2 The climate factors in different sunflower planting regions

地区 Area	平均风速 Average wind velocity (m/s)	日照 时数 Light hour /h	气温 Temperature/°C				相对湿度 Humidity /%	大气压 Airpressure /Pa	降水量 Rainfall /mm	积温 Accumulated temperature /°C
			日均最高 Temp-H	日均最低 Temp-L	日较差 Temp-D	日均 Temp- Mean				
武功 Wugong	1.7e	589.2e	29.8a	19.6a	10.2e	24.3a	72.2a	95.5d	298.9a	2 360.7ab
介休 Jiexiu	2.1c	458.0f	30.1a	17.1b	13.0a	23.5b	58.0c	92.3e	165.5d	2 417.6a
呼和浩特 Hohhot	3.3a	926.1b	26.8d	14.4c	12.4b	20.5d	48.2d	88.2g	212.0c	2 414.8a
沈阳 Shenyang	1.8e	705.0d	29.3b	17.5b	11.8c	23.2b	69.8a	100.2a	163.4d	2 292.3b
乌鲁木齐 Urumqi	2.4b	1 046a	28.2c	17.4b	10.8d	22.4c	38.9e	90.5f	96.3e	2 399.6a
长春 Changchun	2.1c	920.7b	27.2d	17.0b	10.1e	21.9c	67.0b	98.0c	241.2bc	2 417.3a
齐齐哈尔 Qiqihar	2.0d	769.1c	27.0d	17.5b	9.5f	21.9c	72.1a	99.0b	280.1ab	2 320.0ab

注:同列不同小写字母表示区域间在 0.05 水平下差异显著

Note: The different lowercase letters within same column show significant difference among regions at 0.05 level

2.2 不同种植区域向日葵籽实脂肪酸含量比较

表 3 显示,3 个向日葵品种 NKZ4、NK244、NK175 籽实油酸含量大致随着种植区域纬度的升高而逐渐降低,且在大部分种植区域之间差异显著;同时,3 个向日葵品种籽实的油酸含量在同一种植区域的不同年份之间也存在明显差异。整体来看,武功地区的向日葵油酸含量最高,NKZ4、NK244、NK175 的油酸含量在 2014 年分别为 31.6%、37.0%、33.8%,在 2015 年分别为 45.0%、49.1%、48.2%;齐齐哈尔地区的向日葵油酸含量最低,NKZ4、NK244、NK175 的油酸含量在 2014 年分别为 18.3%、15.8%、16.8%,在 2015 年分别为 19.9%、14.1%、20.0%;NKZ4、NK244、NK175 品种在以上两个地区的油酸含量差值在 2014 年分别为 13.3%、21.3%、17.0%,在 2015 年分别为 25.1%、35.1%、28.3%。

同时,通过不同生态区域试验发现,地区间向日葵品种的脂肪酸含量差异较大,可以聚为几大区域。其中,武功和介休地区油酸含量较高,亚油酸含量相对较低;乌鲁木齐和呼和浩特地区油酸和亚油酸含量居中,棕榈酸和硬脂酸含量相对较高;沈阳地区油酸和亚油酸含量均居中;长春和齐齐哈尔地区油酸含量较低,亚油酸含量相对较高。

2.3 不同种植区域向日葵生育天数比较

如图 1 所示,3 个向日葵品种 NKZ4、NK244、NK175 在不同种植区域的生育期天数均表现为随着纬度的升高而延长趋势,且处于高纬度地区的生育期要显著大于低纬度地区。在 7 个地区中,向日葵品种的生育期以中间纬度的呼和浩特地区最大,并

显著大于其他地区,而呼和浩特地区的海拔高度也最高,由此说明向日葵品种在此地受海拔高度影响较大。从不同生育阶段来看,以最低纬度地区武功为基准,向日葵出苗-现蕾期阶段的生育期天数除沈阳显著小于武功外,其他地区均显著大于武功,且其他地区之间无显著差异;在现蕾-开花期阶段,除介休显著小于武功外,其他地区均与武功无显著差异;在开花-成熟期阶段,其他地区的生育期天数均大于介休,其中介休和乌鲁木齐与武功之间差异不显著,其他地区与武功之间差异显著,且其他地区之间存在显著差异。由此说明,向日葵生育期在不同种植区域间的变化主要是由开花至成熟期阶段生育期天数决定的。整体来看,3 个向日葵品种 NKZ4、NK244、NK175 在 7 个地区中生育期天数最长和最短地区可以分别相差 13 d、26 d、18 d,开花至成熟期天数平均相差 17 d 左右。

2.4 向日葵籽实油酸含量与种植区生育期及环境气候因子的关系

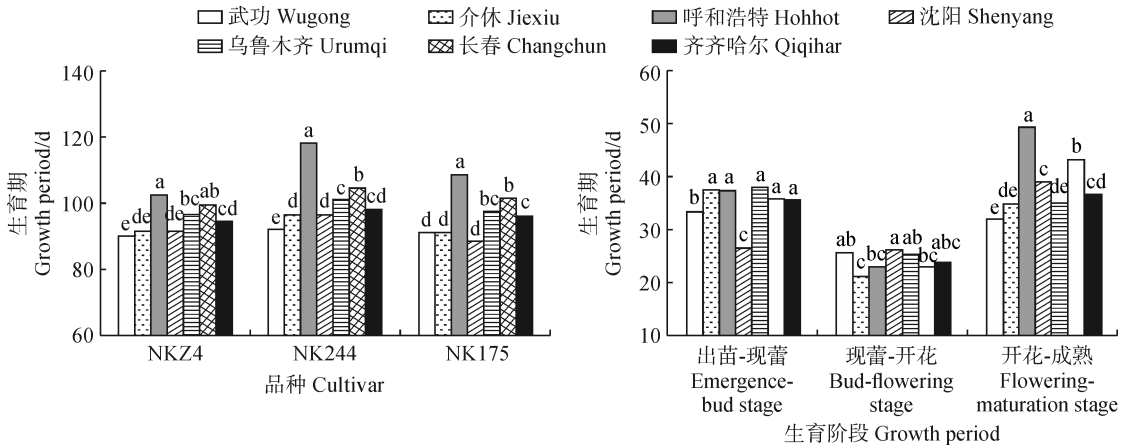
2.4.1 籽实油酸含量与种植区生育期的关系

不同种植区域条件下各向日葵品种籽实的油酸含量与不同生育阶段天数相关分析结果(表 4)表明:向日葵油酸含量与开花-成熟阶段和全生育期在 0.01 水平下呈显著负相关关系。由图 2 可知,油酸含量与全生育期和开花-成熟期的关系为一元二次多项式,决定系数 R^2 值分别为 0.2991 和 0.2837。向日葵油酸含量在全生育期和开花-成熟阶段均表现为随着生育期天数的增大而降低趋势,当全生育期在 90 d 左右、开花-成熟期在 30~35 d 之间时能够获得较高油酸含量。

表 3 2014 年不同种植区域向日葵籽实脂肪酸组分含量

Table 3 The fatty acid content in seed of sunflower at different planting regions in 2014 and 2015 /%

年份 Year	地区 Area	品种 Cultivar	油酸 Oleic acid	亚油酸 Linoleic acid	棕榈酸 Palmitic acid	硬脂酸 Stearic acid	粗脂肪 Crude fat
2014	武功 Wugong	NKZ4	31.6	60.2	4.6	3.6	39.3
		NK244	37.0	54.4	4.3	4.3	36.8
		NK175	33.8	57.6	4.4	4.2	32.6
	介休 Jiexiu	NKZ4	30.9	59.1	6.1	4.0	38.6
		NK244	36.3	54.3	5.4	4.1	33.4
		NK175	42.2	48.1	4.8	5.0	31.5
	呼和浩特 Hohhot	NKZ4	24.1	66.1	4.5	5.3	44.6
		NK244	23.7	66.8	4.2	5.3	45.8
		NK175	26.7	62.9	4.5	6.0	33.4
	沈阳 Shenyang	NKZ4	23.8	67.4	5.1	3.6	48.8
		NK244	21.5	69.5	5.0	4.0	46.7
		NK175	27.4	63.5	4.9	4.3	46.2
	乌鲁木齐 Urumqi	NKZ4	25.5	64.1	6.1	4.4	51.1
		NK244	27.5	63.1	5.2	4.2	48.9
		NK175	26.1	63.4	5.2	5.2	44.4
	长春 Changchun	NKZ4	24.1	67.3	4.4	4.2	44.5
		NK244	16.9	73.4	5.1	4.6	50.6
		NK175	24.8	65.9	4.4	4.8	35.8
	齐齐哈尔 Qiqihar	NKZ4	18.3	72.4	5.5	3.7	45.6
		NK244	15.8	75.3	5.3	3.6	41.9
		NK175	16.8	73.4	5.2	4.6	39.2
2015	武功 Wugong	NKZ4	45.0	45.4	6.0	3.6	42.2
		NK244	49.1	41.8	5.3	3.8	41.8
		NK175	48.2	42.4	5.5	3.8	37.3
	介休 Jiexiu	NKZ4	33.5	56.0	6.8	3.7	34.0
		NK244	41.2	49.6	5.1	4.1	38.9
		NK175	42.5	47.8	5.6	4.1	39.4
	呼和浩特 Hohhot	NKZ4	20.0	68.8	6.5	4.8	50.8
		NK244	17.3	71.4	6.2	5.1	47.5
		NK175	20.2	69.8	5.6	4.4	43.3
	沈阳 Shenyang	NKZ4	27.7	62.7	5.2	4.5	40.9
		NK244	21.8	68.8	5.4	4.0	46.1
		NK175	29.9	60.2	4.9	5.1	33.6
	乌鲁木齐 Urumqi	NKZ4	29.9	59.6	6.5	4.0	47.2
		NK244	28.6	61.8	5.6	4.0	44.3
		NK175	32.6	56.9	5.7	4.9	34.7
长春 Changchun	NKZ4	20.0	70.0	6.6	3.5	51.3	
	NK244	18.9	71.5	5.9	3.6	46.8	
	NK175	20.8	69.7	5.7	3.8	47.7	
齐齐哈尔 Qiqihar	NKZ4	19.9	69.9	6.0	4.3	42.8	
	NK244	14.1	75.9	5.7	4.3	48.4	
	NK175	20.0	69.8	5.9	4.3	41.3	



不同小写字母表示相同品种或生育阶段内种植区域间差异显著 ($P \leq 0.05$)

图 1 2014 年向日葵在不同地区的生育期天数

The different normal letters within same cultivar or growth stage show significant difference among regions ($P \leq 0.05$)

Fig. 1 Days of sunflower growth period in different areas in 2014

表 4 向日葵籽实油酸含量与其不同生育阶段天数之间的相关系数

Table 4 Correlation coefficient between oleic acid content in seed and days of different growth periods of sunflower

项目 Item	出苗-现蕾 Emergence-bud stage	现蕾-开花 Bud-flowering stage	开花-成熟 Flowering-maturation stage	全生育期 Whole growth period
油酸含量 Oleic acid content	-0.043	-0.109	-0.491**	-0.495**

注: ** 表示相关系数在 0.01 水平上显著

Note: ** indicate correlation coefficients are significant at 0.01 level

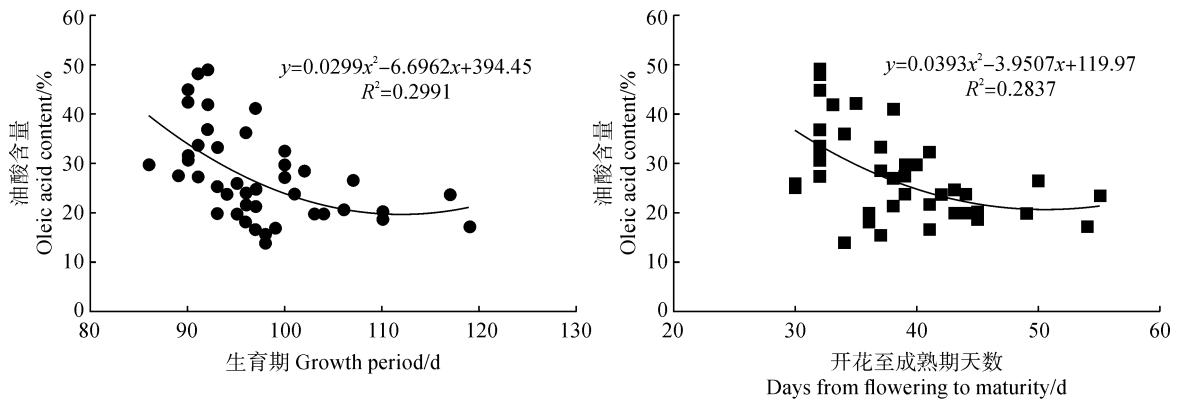


图 2 向日葵油酸含量随生育期变化

Fig. 2 Changes of oleic acid content in sunflower seed with growth period

2.4.2 籽实油酸含量与种植区地理位置(经纬度、海拔)的关系 分析 3 个向日葵品种油酸含量与经度、纬度、海拔的关系(图 3),可以看出油酸含量总体变化趋势为随纬度的增加而降低,随经度和海拔的增加先上升后下降。因此,可以根据向日葵籽油不同脂肪酸配比的品质需要选择适宜的地理位置,合理安排种植区划。

2.4.3 籽实油酸含量与种植区气候因子的关系

不同种植区域各向日葵品种籽实的油酸含量与其不

同生育时期气候因子相关分析结果(表 5)表明:在出苗-现蕾阶段,油酸含量与日照时数极显著负相关 ($P < 0.01$),与日均最高气温极显著正相关,与气温日较差显著正相关 ($P < 0.05$);在现蕾-开花阶段,油酸含量与平均风速和日照时数均极显著负相关,与日均最高气温、气温日较差和日均气温均极显著正相关;在开花-成熟阶段,油酸含量与日照时数极显著负相关,与日均最高气温、日均最低气温和日均气温均极显著正相关;在全生育期,油酸含量与日照

表 5 向日葵籽实油酸含量与不同生育期气候因子的相关系数

Table 5 Correlation coefficient between oleic acid content in seed and climatic factors in different growth periods of sunflower

时期 Stage	平均 风速 Wind-mean (m/s)	日照 时数 Light Hour /h	气温 Temperature/°C				相对湿度 Humidity /%	大气压 Airpressure /Pa	降水量 Rainfall /mm	积温 Accumulated temperature /°C
			日均最高 Temp-H	日均最低 Temp-L	日较差 Temp-D	日均 Temp- Mean				
苗期-现蕾 Seedling- Squaring	-0.145	-0.505**	0.400**	0.200	0.320*	0.298	-0.030	-0.222	-0.112	0.004
现蕾-开花 Squaring- Flowering	-0.457**	-0.399**	0.647**	0.204	0.455**	0.416**	-0.005	-0.211	-0.105	0.220
开花-成熟 Flowering- Maturation	-0.253	-0.584**	0.427**	0.470**	0.071	0.467**	0.132	-0.221	0.026	0.093
全生育期 Growth duration	-0.251	-0.599**	0.777**	0.458**	0.306*	0.682**	0.034	-0.221	-0.068	-0.239

注：* 表示在 0.05 水平上显著相关；** 表示在 0.01 水平上显著相关

Note: * Correlation coefficients are significant at 0.05 level. ** Correlation coefficients are significant at 0.01 level

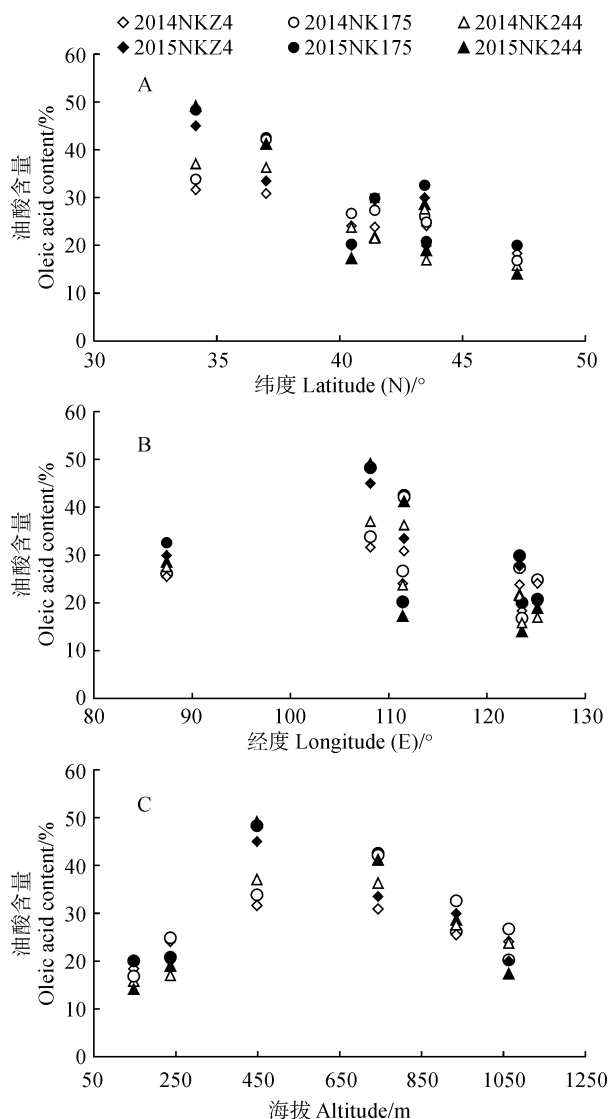


图 3 向日葵籽实油酸含量与种植区地理位置的关系
Fig. 3 Relationship between seed oleic acid content and geographical location of sunflower

时数极显著负相关,与日均最高气温、日均最低气温和日均气温均极显著正相关,与气温日较差显著正相关。整体来看,向日葵籽实油酸含量与种植区日照时数、日均最高气温、日均最低气温、日均气温 4 个气候因子均在显著相关,且在全生育期的相关性最好,在开花-成熟阶段次之,出苗-现蕾阶段最小。

同时,进一步利用不同种植区域各向日葵品种油酸含量与全生育期的日照时数、日均最高气温、日均最低气温、日均气温 4 个气候因子进行线性回归分析,结果(图 4)表明,向日葵籽实油酸含量与日照时数、日均最高气温、日均最低气温、日均气温 4 个气候因子的线性关系均为一元二次多项式,决定系数 R^2 值分别为 0.4924、0.6075、0.2503 和 0.5329。其中,在整个生育期阶段,籽实油酸含量随着日照时数的增加呈先下降后上升的趋势,当日照时数由 400 h 增加到 800 h,油酸含量由 40%~50% 下降到 10%~20%,日照时数在 800~1 000 h 之间时,油酸含量集中在 20%~30%;籽实油酸含量随日均最高气温、日均最低气温、日均气温的增大均呈上升趋势,整体来看,日均最高气温、日均最低气温、日均气温的高低温差均为 5 °C 左右,而油酸含量由 20% 上升至 40%。

3 讨论

Turhan 等指出生长位置是满足市场需求葵花籽油质量的一个重要因素^[29]。王鹏东同样指出,中国油用向日葵杂交种选育目标应因地制宜地确定^[30],在规划向日葵生产时,应充分考虑纬度和海拔的因素。本研究结果表明油酸含量总体变化趋势

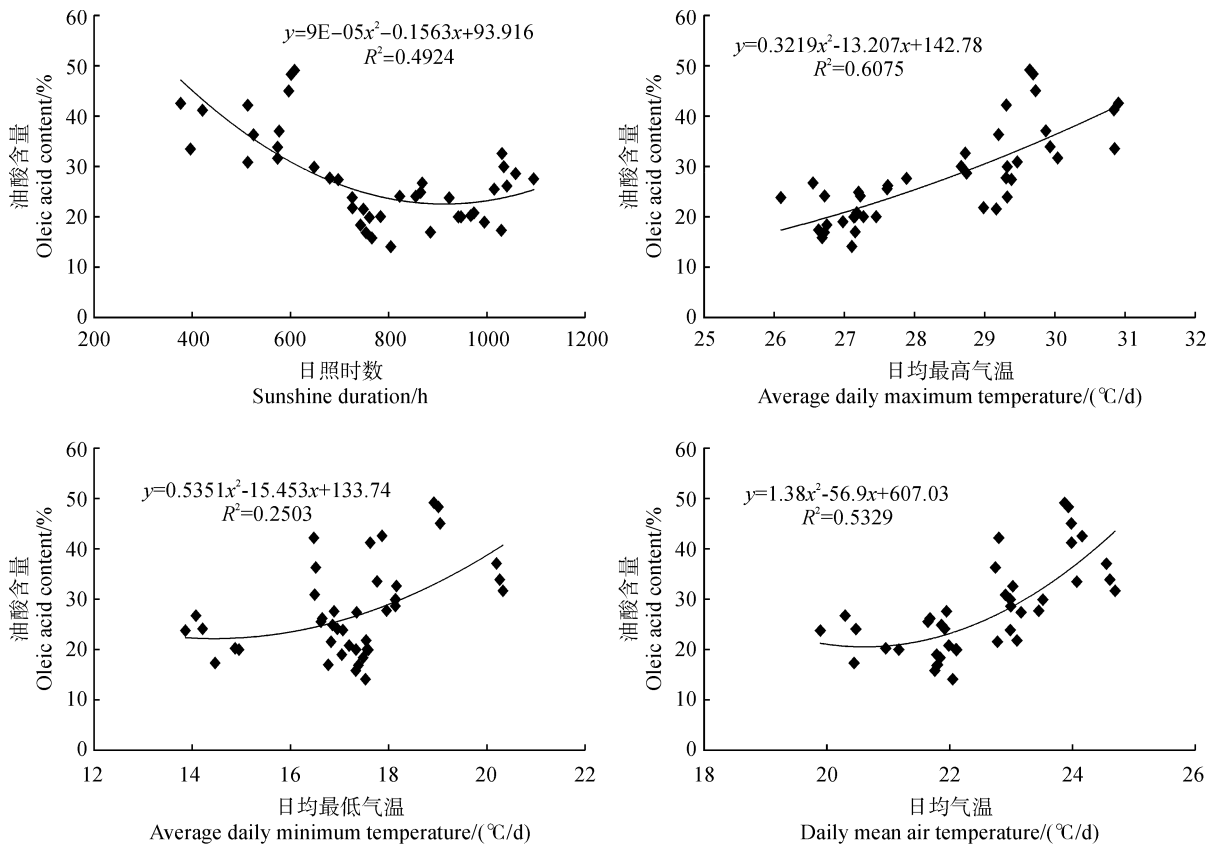


图4 向日葵籽实油酸含量随气候因子变化情况

Fig. 4 Changes of seed oleic acid content with climatic factors

为随种植区纬度的增加而降低,随种植区经度和海拔的增加先上升后下降。虽然向日葵籽实油酸含量在品种之间、年份之间也存在差异,但不同地区间差异更明显。从气候因子对向日葵油酸含量的影响来看,日照时数、日均最高气温、日均最低气温、日均气温4个气候因子与向日葵油酸含量密切相关。在各生育阶段和全生育期,油酸含量与日照时数均呈显著负相关,与日均最高气温和日均气温均呈显著正相关;在现蕾-开花阶段,油酸含量与平均风速显著负相关,其他气象因子无相关性;在开花-成熟阶段和全生育期,油酸与日均最低气温显著正相关。整体来看,向日葵籽实油酸含量受日均最高气温和日均气温影响最大,日均最高气温、日均气温升高5℃,油酸含量由20%上升至40%。同时,气候因子对油酸含量影响还体现在全生育期天数和开花至成熟期天数的变化上,尤其是对开花至成熟期天数的影响较大。

3.1 各种植区向日葵生育期日数及其与油酸含量的关系

本研究中3个向日葵品种在不同种植区域的生育期天数表现为随纬度的升高而延长的趋势,且高

纬度地区各向日葵品种的生育期要显著大于低纬度地区,处于中间纬度地区的呼和浩特向日葵品种的生育期天数最大,而此地的海拔高度最高,说明向日葵品种的生育期在此地受海拔高度影响较大。尤其是开花-成熟期的天数差异较大,且向日葵在不同种植区生育期的变化主要是由开花至成熟期阶段生育期天数决定的。不同播期条件下向日葵品种的全生育期与开花至成熟期天数表现出随着播期的后延呈现逐渐降低趋势。开花至成熟期天数同样是影响全生育期天数变化的关键因素。总体趋势表现为生育期天数随着积温升高而相应缩短,也说明同一向日葵品种生长发育所需要的积温是相对固定的,这与本研究得出的7个不同种植区域向日葵品种全生育期积温受所在区域环境影响最小的结论是一致的。

但是,向日葵油酸含量与生育期和开花至成熟期天数的相关性截然相反,不同播种期条件下油酸含量随着生育期和开花至成熟期天数的缩短呈降低趋势,而不同种植区域条件下的油酸含量随着生育期和开花至成熟期天数的缩短呈升高趋势。分析其原因,向日葵生育期天数的长短受到气候因子中总降雨量、总日照时数的影响更大,但受到各生育阶段

的平均最高温、最低温、平均气温、平均温差等影响较小。本研究得出全生育期尤其是开花至成熟阶段的平均最高温、最低温、平均气温、平均温差等温度因子是影响油酸含量变化的主要原因。所以生育期长短并不能决定油酸含量的高低,而是看向日葵生长发育关键时期温度影响因子的大小。

3.2 种植区光照时间与向日葵籽实油酸含量的关系

本研究结果显示,在不同种植区域条件下,向日葵出苗-现蕾、现蕾-开花、开花-成熟以及全生育期的日照时数与其籽实油酸含量呈显著负相关,而在不同播种期条件下油酸含量与全生育期的日照时数呈显著正相关。分析其原因,总日照时数主要受生育期天数的影响,生育期天数长,相应总日照时数多,所以油酸含量与日照时数的相关关系和油酸含量与生育期天数的相关关系是一致的,在不同种植区域条件和不同播种期条件得出相反的结论。Maria 等研究夜间温度和太阳辐射对向日葵油酸含量的影响^[31],结果表明任何辐射条件下,增加温度都能增加油酸含量百分比;在任何温度下,遮蔽可使油酸含量下降。光照时间对大豆化学品质也有很大影响,大豆开花后经长光照会导致油酸和棕榈酸含量有所下降,而亚油酸和亚麻酸比例会升高^[32];Dwivedi 等指出油酸、亚油酸含量及油/亚比受光照时间影响不大^[33]。可见,光照时间对油酸含量的影响尚无定论,也可能是多种气候因子共同作用的复杂结果,有待进一步研究。

3.3 种植区温度与向日葵籽实油酸等脂肪酸组分含量的关系

种子脂肪的组成随环境温度的变化而变化。亚油酸、亚麻酸等多不饱和脂肪酸含量一般随环境温

度的降低而逐渐增加,而油酸含量则相应减少^[34-36]。本研究同样得出向日葵籽实油酸含量与温度因子密切相关,利用开花至成熟期的日均最高气温、日均最低气温、日均气温与油酸含量进行线性回归分析,向日葵油酸含量与3个温度因子的线性关系均为一元二次多项式,决定系数值在0.7775~0.7953之间,具有较好拟合度,且油酸含量均随着日均最高气温、日均最低气温、日均气温的增加呈增大趋势。当向日葵籽实油酸含量由15%提高至30%,开花至成熟期日均最高气温升高了8℃、日均最低气温升高了7℃、日均气温升高了8℃。Demurin 等同样得出类似结论,在种子发育过程中,其油酸含量受温度的影响,温度每升高1℃,油酸含量增加2%左右^[37]。

3.4 种植区水分状况与向日葵籽实油酸等脂肪酸组分含量的关系

关于水分对向日葵脂肪酸组分含量的影响,国内外已有大量相关报道。Sezen 等研究指出水分胁迫使向日葵籽实油酸含量增加^[38],亚油酸、棕榈酸和硬脂酸含量降低。Roche 等同样指出向日葵花期如受到水分胁迫,籽实油酸含量则显著增加,而亚油酸含量则降低^[39]。李为萍等^[40]研究指出随着水分的增加,向日葵亚油酸含量增加,而硬脂酸及饱和脂肪酸的生成受到抑制。马淑英等^[41]指出平均降水量与大豆亚油酸呈显著负相关关系,与硬脂酸呈极显著正相关关系。本研究得出向日葵籽实油酸含量与降雨量相关系数很小,其原因可能是根据试验安排各地区试验点在田间管理时均按照正常管理进行了灌溉,所以分析不出降雨量与油酸含量的直接相关关系。

参考文献:

- [1] LEIVA-CANDIA D E, TSAKONA S, KOPSAHELIS N, et al. Biorefining of by-product streams from sunflower-based biodiesel production plants for integrated synthesis of microbial oil and value-added co-products[J]. *Bioresource Technology*, 2015, **190**: 57-65.
- [2] GUO S C, ZUO Y C, ZHANG Y F, et al. Large-scale transcriptome comparison of sunflower genes responsive to *Verticillium dahlia* e[J]. *BMC Genomics*, 2017, **18**(1): 42.
- [3] ÍTAVO L C V, ÍTAVO C C B F, DIAS A M, et al. Lipid rich diet from sunflower seeds can alter the proportion of fatty acids on hybrid Beefalo × Nellore cattle[J]. *Tropical Animal Health and Production*, 2021, **53**(1): 162.
- [4] IZQUIERDO N G, AGUIRREZÁBAL L A N. Genetic varia-

- bility in the response of fatty acid composition to minimum night temperature during grain filling in sunflower[J]. *Field Crops Research*, 2008, **106**(2): 116-125.
- [5] 安 昊, 段 玉, 张 君, 等. 氮磷钾肥对食用向日葵籽实灌浆及油分积累的影响[J]. 北方农业学报, 2021, **49**(3): 29-35.
- AN H, DUAN Y, ZHANG J, et al. Effects of nitrogen, phosphorus and potassium fertilizer on grain-filling and oil accumulation of confectionary sunflower[J]. *Journal of Northern Agriculture*, 2021, **49**(3): 29-35.
- [6] BAYDAR H, ERBAS S. Influence of seed development and seed position on oil, fatty acids and total tocopherol contents in sunflower (*Helianthus annuus* L.) [J]. *Turkish Journal of Agriculture & Forestry*, 2005, **29**(3): 179-186.
- [7] 周 菲, 黄绪堂, 梁春波, 等. 油用向日葵脂肪酸脱氢酶基因

- FAD2-1 的克隆与表达分析[J]. 黑龙江农业科学, 2016,(5): 8-12.
- ZHOU F, HUANG X T, LIANG C B, *et al.* Molecular cloning and expression analysis of fatty acid dehydrogenase gene FAD2-1 in oil sunflower (*Helianthus annuus* L.)[J]. *Heilongjiang Agricultural Sciences*, 2016,(5): 8-12.
- [8] 雷中华, 黄启秀, 张黎, 等. 向日葵粗脂肪及脂肪酸组分分析[J]. 新疆农业科学, 2020,**57**(7): 1 201-1 210.
- LEI Z H, HUANG Q X, ZHANG L, *et al.* Analysis of crude fat accumulation mode and fatty acid composition of sunflower[J]. *Xinjiang Agricultural Sciences*, 2020,**57**(7): 1 201-1 210.
- [9] ALI A, ULLAH S. Effect of nitrogen on achene protein, oil, fatty acid profile, and yield of sunflower hybrids[J]. *Chilean Journal of Agricultural Research*, 2012,**72**(4): 564-567.
- [10] BUCHANAN BB, GRUISSEM W, JONES R L. Plant Biochemistry & Molecular Biology[M]. Rockville MD: American Society of Plant Physiologists, 2000: 518-520.
- [11] 于海峰, 安玉麟, 李素萍, 等. 油用向日葵品质形成规律研究[J]. 黑龙江农业科学, 2010,(9): 14-18.
- YU H F, AN Y L, LI S P, *et al.* The pattern of quality formation in oil sunflower[J]. *Heilongjiang Agricultural Sciences*, 2010,(9): 14-18.
- [12] 葛春芳, 张鉴, 刘秋. 气候条件对向日葵脂肪酸组成的影响[J]. 辽宁农业科学, 1996,(4): 10-12.
- GE C F, ZHANG J, LIU Q. The influence of climatic factors on the composition of lipid acids in sunflower oil[J]. *Liaoning Agricultural Science*, 1996,(4): 10-12.
- [13] 李培江, 米瑶, 余竟, 等. 美国引进向日葵种子含油量和脂肪酸组成比较分析[J]. 中国油脂, 2015,**40**(11): 104-106.
- LI P J, MI Y, YU J, *et al.* Comparison of oil contents and fatty acid compositions of sunflower seeds introduced from the US[J]. *China Oils and Fats*, 2015,**40**(11): 104-106.
- [14] 朱世永. 美国扩大种植含中等量油酸向日葵[J]. 粮食与油脂, 1999,**12**(1): 55.
- ZHU S Y. Expanding planting sunflowers with moderate oleic acid in America[J]. *Journal of Cereals & Oils*, 1999,**12**(1): 55.
- [15] 朱东旭, 关中波, 徐桂真, 等. 油用向日葵品种主要农艺性状的主成分分析和聚类分析[J]. 中国农学通报, 2015,**31**(12): 152-156.
- ZHU D X, GUAN Z B, XU G Z, *et al.* Principal component analysis and cluster analysis of main agronomic traits of oil-sunflower varieties[J]. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 2015,**31**(12): 152-156.
- [16] 王喜刚. 向日葵栽培与病虫害防治[J]. 农民致富之友, 2015,(20): 106.
- WANG X G. Sunflower cultivation and pest control[J]. *Nongmin Zhifuzhiyou*, 2015,(20): 106.
- [17] 王建文. 向日葵栽培技术的探讨与分析[J]. 农业开发与装备, 2018,(12): 183.
- WANG J W. Discussion and analysis on cultivation techniques of sunflower [J]. *Agricultural Development & Equipments*, 2018,(12): 183.
- [18] HASNA H S, LATIF A M A, PRYANKA R, *et al.* Effect of different dosage of EMS on germination, survivability and morpho-physiological characteristics of sunflower seedling [J]. *Helia*, 2021,**44**(75): 167-180.
- [19] ALVES L S, MORAIS L G, MAUAD M, *et al.* Grain production, fatty acid and oil profile from sunflower cultivars receiving different boron doses[J]. *Bioscience Journal*, 2020,**36**(4): 1 185-1 192.
- [20] NOURAEIN M, SKATARIC G, SPALEVIC V, *et al.* Short-term effects of tillage intensity and fertilization on sunflower yield, achene quality, and soil physicochemical properties under semi-arid conditions[J]. *Applied Sciences*, 2019,**9**(24): 5 482.
- [21] FLAGELLA Z, ROTUNNO T, TARANTINO E, *et al.* Changes in seed yield and oil fatty acid composition of high oleic sunflower (*Helianthus annuus* L.) hybrids in relation to the sowing date and the water regime[J]. *European Journal of Agronomy*, 2002,**17**(3): 221-230.
- [22] GÖKSOY A T, DEMIR A O, TURAN Z M, *et al.* Responses of sunflower (*Helianthus annuus* L.) to full and limited irrigation at different growth stages[J]. *Field Crops Research*, 2004,**87**(2-3): 167-178.
- [23] ZHELJAZKOV V D, VICK B A, EBELHAR M W, *et al.* Yield, oil content, and composition of sunflower grown at multiple locations in Mississippi [J]. *Agronomy Journal*, 2008,**100**(3): 635-642.
- [24] ZHELJAZKOV V, VICK B, BALDWIN B. Oil content and saturated fatty acids in sunflower as a function of planting date, nitrogen rate, and hybrid [J]. *Agronomy Journal*, 2009, **101**(4): 1 003-1 011.
- [25] FAN X M, KANG M S, CHEN H M, *et al.* Yield stability of maize hybrids evaluated in multi-environment trials in Yunnan, China[J]. *Agronomy Journal*, 2007,**99**(1): 220-228.
- [26] YAN W K, CORNELIUS P L, CROSSA J, *et al.* Two types of GGE biplots for analyzing multi-environment trial data[J]. *Crop Science*, 2001,**41**(3): 656-663.
- [27] SAMONTE S O P, WILSON L T, MCCLUNG A M, *et al.* Targeting cultivars onto rice growing environments using AMMI and SREG GGE biplot analyses[J]. *Crop Science*, 2005,**45**(6): 2 414-2 424. [LinkOut]
- [28] YAN W K, RAJCAN I. Biplot analysis of test sites and trait relations of soybean in Ontario[J]. *Crop Science*, 2002, **42**(1): 11-20.
- [29] TURHAN H, CITAK N, PEHLIVANOGLU H. Effects of ecological and topographic conditions on oil content and fatty acid composition in sunflower[J]. *Bulgarian Journal of Agricultural Science*, 2010, **16**(5): 553-558.
- [30] 王鹏冬, 杨新元, 白冬梅, 等. 油葵杂交种含油率与地理位置的关系研究[J]. 中国油料作物学报, 2002,**24**(4): 38-42.
- WANG P D, YANG X Y, BAI D M, *et al.* The relationship between oil content of oil sunflower hybrids and their growing geographical positions[J]. *Chinese Journal of Oil Crop Sciences*, 2002,**24**(4): 38-42.

- [31] ECHARTE M M, ANGELONI P, JAIMES F, *et al.* Night temperature and intercepted solar radiation additively contribute to oleic acid percentage in sunflower oil[J]. *Field Crops Research*, 2010, **119**(1): 27-35.
- [32] 韩天富, 王金陵, 杨庆凯, 等. 开花后光照长度对大豆化学品质的影响[J]. 中国农业科学, 1997, **30**(2): 47-53.
HAN T F, WANG J L, YANG Q K, *et al.* Effects of post flowering photoperiod on chemical composition of soybeans [J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 1997, **30**(2): 47-53.
- [33] DWIVEDI S L, NIGAM S N, RAO R C N. Photoperiod effects on seed quality traits in peanut[J]. *Crop Science*, 2000, **40**(5): 1 223-1 227.
- [34] MIKAMI K, MURATA N. Membrane fluidity and the perception of environmental signals in cyanobacteria and plants [J]. *Progress in Lipid Research*, 2003, **42**(6): 527-543.
- [35] LOS D A, MURATA N. Membrane fluidity and its roles in the perception of environmental signals[J]. *Biochimica et Biophysica Acta (BBA) - Biomembranes*, 2004, **1 666**(1-2): 142-157.
- [36] UPCHURCH R G. Fatty acid unsaturation, mobilization, and regulation in the response of plants to stress[J]. *Biotechnology Letters*, 2008, **30**(6): 967-977.
- [37] DEMURIN Y, ŠKORIĆ D, VEREŠBARANJI I, *et al.* Inheritance of increased oleic acid content in sunflower seed oil [J]. *Helia*, 2000, **34**(32): 87-92.
- [38] SEZEN S M, YAZAR A, KAPUR B, *et al.* Comparison of drip and sprinkler irrigation strategies on sunflower seed and oil yield and quality under Mediterranean climatic conditions [J]. *Agricultural Water Management*, 2011, **98**(7): 1 153-1 161.
- [39] ROCHE J, BOUNIOLS A, MOULOUNGUI Z, *et al.* Management of environmental crop conditions to produce useful sunflower oil components[J]. *European Journal of Lipid Science and Technology*, 2006, **108**(4): 287-297.
- [40] 李为萍, 史海滨, 李仙岳, 等. 水氮交互对油用向日葵粗脂肪及脂肪酸组分的影响[J]. 中国油料作物学报, 2015, **37**(6): 838-845.
LI W P, SHI H B, LI X Y, *et al.* Oil sunflower crude fat and fatty acid composition under water and nitrogen coupling [J]. *Chinese Journal of Oil Crop Sciences*, 2015, **37**(6): 838-845.
- [41] 马淑英, 梁 歧, 宋 慧, 等. 超早熟大豆脂肪酸的形成及其与气象因素的相关分析[J]. 中国农业科学, 1999, **32**(S1): 69-76.
MA S Y, LIANG Q, SONG H, *et al.* The formation of fatty acid of extra early soybean and correlation with meteorological element [J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 1999, **32**(S1): 69-76.

(编辑: 裴阿卫)

《西北植物学报》2021 年审稿专家名单

(以姓氏笔画为序)

于澄宇 马雄风 马锋旺 王卫卫 王西平 王军卫 王军辉 王青锋 王晓峰 王崇英 王得祥
王慷林 王曙光 韦毅刚 尤庆敏 甘立军 叶绍明 田惠桥 巩振辉 朱仁斌 朱志红 朱相云
乔玉山 庄 静 刘 冰 刘文哲 刘占林 刘西平 刘全儒 刘志鹏 刘培亮 孙广玉 苏 旭
杜 峰 李 英 李 攀 李玉红 李忠虎 李周岐 李秧秧 李宽意 李得孝 李登科 杨 清
杨洪强 吴 卫 吴振海 邱全胜 张 岗 张飞雄 张文辉 张延龙 张宏利 张建强 张硕新
张鲁刚 张福生 陈 鹏 陈兴福 陈进明 陈坤明 陈贵林 陈素梅 林金水 林雁冰 罗 建
岳 明 金效华 周明芹 於丙军 单卫星 赵继新 胡永红 饶广远 洪棋斌 祝钦泷 袁 杰
钱 前 徐 炎 高 翔 高志奎 高锦明 郭世荣 郭其强 郭晓思 唐 明 唐 岱 黄 方
黄 康 曹建国 常朝阳 麻鹏达 康永祥 阎 侃 梁文裕 梁国华 董娟娥 韩文炎 程金凤
谢树莲 赖钟雄 蔡 霞 熊友才 黎 斌 黎星辉 薛吉全 魏安智 魏鑫丽 上官周平

以上为《西北植物学报》2021 年的审稿专家,感谢一年来在百忙之中为本刊把好学术质量关,在此特向专家们致以最诚挚的谢意,还望在今后的岁月中继续支持学报的工作。