

doi:10.3969/j.issn.1000-6362.2021.02.005

信志红,慈敦伟,张洪卫,等.黄河三角洲盐碱地花生高产最佳播种期探究[J].中国农业气象,2021,42(2):134-145

黄河三角洲盐碱地花生高产最佳播种期探究*

信志红¹, 慈敦伟^{2**}, 张洪卫^{1**}, 李 美³, 杨爱华⁴, 刘春兰⁵, 田秀菊⁴, 刘冬冬⁵, 岳义军¹

(1.山东省东营市气象局, 东营 257091; 2.山东省花生研究所, 青岛 266100; 3.山东省东营市农业农村局, 东营 257091;
4.山东省利津县气象局, 东营 257499; 5.山东省垦利区气象局, 东营 257599)

摘要: 2019 年 4—9 月在黄河三角洲盐碱地代表区内开展直播覆膜花生分期播种对比试验, 以研究区常年稳定通过 15℃初日为播期对照处理, 利用方差分析、卡方检验等方法, 对 6 个播期处理的花生发育进程、生长量及产量因素等进行差异性分析, 通过计算气候保证率的方法筛选最佳播期。结果表明, 花生发育期时长随播期推迟而缩短, 播期过早时苗期气温偏低会导致出苗率低进而影响产量, 播期过迟时苗期易遇高温天气造成旺苗或灼苗同时出现开花—下针期缩短, 进而使植株和荚果数减少, 影响产量形成, 而适期播种避免了早播或迟播的不利因素, 加之荚果成熟期饱果时间长, 利于产量积累提升; 过迟播种的花生易发生前期旺长后期早衰的现象, 而适期播种的花生生长量分配均衡协调, 更利于干物质从“源”到“库”的转移, 从而增加荚果重量; 过早或过晚播种的花生均较对照减产 10%以上, 而适期播种处理的花生产量和百粒重均明显优于其它播期; 试验年的适宜播期处于日均气温稳定通过 13~20℃初日期间, 多年适宜播期一般为 4 月 26 日—5 月 9 日, 最佳播期为 5 月 2—5 日, 此期内播种温度条件稳定充足, 可有效发挥盐碱地花生高产潜力。

关键词: 黄河三角洲; 盐碱地; 花生; 高产; 适宜播期

Study on the Best Sowing Date of Peanut with High Yield in Saline-alkali Land of Yellow River Delta

XIN Zhi-hong¹, CI Dun-wei², ZHANG Hong-wei¹, LI Mei³, YANG Ai-hua⁴, LIU Chun-lan⁵, TIAN Xiu-ju⁴,
LIU Dong-dong¹, YUE Yi-jun²

(1. Dongying Meteorological Bureau of Shandong Province, Dongying 257091, China; 2. Shandong Peanut Research Institute, Qingdao 266100; 3. Dongying Agriculture and Rural Bureau of Shandong Province, Dongying 257091; 4. Lijin Meteorological Bureau of Shandong Province, Lijin 257499; 5. Kenli Meteorological Bureau of Shandong Province, Kenli 257599)

Abstract: In order to explore the best sowing date for high yield of peanuts in saline-alkali land, a staged sowing comparative test of direct-seeded peanuts covered with plastic film was carried out in the representative area of saline-alkali land in the Yellow River Delta. Using methods such as variance analysis and chi-square test, the difference analysis of peanut development process, growth volume and yield factors of the six set sowing dates were carried out, and the best sowing date was selected by calculating the climate accumulated frequency. The results showed that the peanut development period shortened with the delay of sowing date. If the sowing date is too early, the low temperature in the seedling stage will lead to a low emergence rate and affect the yield. If the sowing date is too late, the seedling stage is prone to high temperature weather causing vigorous seedlings or burning seedlings, and the short flowering-needle period will reduce the number of seedlings and pods, which will affect the yield formation.

* 收稿日期: 2020-08-08

基金项目: 山东省气象局气象科学技术研究项目(2018sdqxm18); 国家自然科学基金项目(31771732)

** 通讯作者: 慈敦伟, 副研究员, 研究方向为花生栽培理论与技术, E-mail: cdw_2007@126.com; 张洪卫, 高级工程师, 研究方向为天气预报与气象服务, E-mail: zhanghongwei@dy.shangdong.cn

第一作者联系方式: 信志红, E-mail: sddyxin@126.com

Sowing at the right time avoids the disadvantages of early or late sowing. In addition, the pod has a long maturity period, which is beneficial to dry matter accumulation and yield improvement. Peanuts sown too late are prone to prosperous growth in the early stage and premature aging in the later, while peanuts sown in the suitable period have a balanced and coordinated growth distribution, which is more conducive to the transfer of dry matter from “source” to “store” to increase the weight of the pod. The yield of peanuts sown too early or too late was reduced by more than 10% compared with the control, and the yield and 100-seed weight of the peanuts sown in the suitable period were significantly better than other sowing dates. The suitable sowing date for the test year is during the first day when the average daily temperature is stable and passing 13–20°C. The suitable sowing date throughout the year is generally from April 26th to May 9th, and the best sowing date is from May 2nd to 5th. During the period, the planting temperature conditions were stable and sufficient, which can effectively bring out the high yield potential of saline-alkali peanut.

Key words: Yellow River Delta; Saline-alkali land; Peanut; High yield; Suitable sowing time

土壤盐碱化是全球性资源和生态问题, 据联合国粮农组织和教科文组织的不完全统计, 全球盐碱地占可耕地面积的 10%左右^[1-3], 而中国的盐碱化程度较高^[4-5], 盐碱土总面积约占可利用土地面积的 4.88%^[6-8]。位于华北平原的黄河三角洲地区, 盐碱化土地面积约占土地总面积的 70%且大部分处于待开发状态, 成为制约当地农业可持续发展的首要因素^[9-10], 筛选适宜盐碱地种植的作物并获得高产成为发展当地农业生产的迫切需求。花生是中国重要的经济作物和油料作物^[11], 属中等耐盐作物, 并具抗旱、耐瘠、改良土壤等特性, 发展盐碱地花生种植并提高其产量, 对高效利用盐碱地资源、改善盐碱土区农业种植结构、保障粮油供给安全等均有十分重要的意义。

多年来, 对花生高产栽培的论述较多, Grey 等^[12]研究了除草剂残留对花生栽培的影响, Sharma 等^[13]研究了如何利用基因合成技术改良花生品种提高栽培质量, 胡文广等^[14-15]分析了不同栽培时间和方式对花生品质造成的差异, 并从应用品种、群体、施肥等方面探究了花生增产技术等; 也有学者对花生适宜生长环境展开过讨论, 郭峰等^[16-18]探究了小气候效应对花生发育产生的影响, 王飞等^[19-22]探讨了不同气象因子对花生品质可能造成的影响等, 李锦辉等^[23-24]从提高花生抗旱育种能力方面, Qin 等^[25-26]从花生苗期干旱胁迫对其造成的影响方面, 李林等^[27]对花生耐湿涝性等方面也开展了不同程度的研究。上述研究大都基于非盐碱土壤环境下花生发育情况的论述, 而关于盐碱地花生田间试验方面的研究报道较少。近年来张智猛等^[28-30]在花生耐盐性评价、

种植密度对盐碱地花生品质形成的影响方面开展了相关研究, 但基于气象条件开展的盐碱地花生分期播种试验研究尚未全面展开。本研究试验区位于黄河三角洲滨海盐碱地代表地块, 属暖温带半湿润季风气候, 近年来随着盐碱地棉花经济效益急速下滑, 如何充分利用当地气候资源、选择花生适宜播期并获得高产, 成为当地农业转方式调结构面临的新命题。本研究通过开展基于气象环境的分期播种试验, 对不同播期花生的发育进程、生长量及产量要素等进行比较和差异性分析, 厘清花生发育过程中的气象利弊因素, 并结合试验区气候资源保障状况, 筛选出适宜黄河三角洲地区花生高产的最佳播期, 以为盐碱地花生高效种植和高产稳产提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验概况

供试花生品种为“花育 25”, 一次性足量购买同批次种子以供不同播期使用。

2019 年 4–9 月, 分别在黄河三角洲地区的利津(118°13'E、37°29'N, 海拔 10.8m)和垦利(118°36'E、37°38'N, 海拔 12.0m)两处盐碱地块开展分期播种试验, 以使试验数据更具代表性。两处试验地相距 40.7km, 土壤 pH 值分别为 7.1 和 7.3, 全盐含量分别为 2.55‰和 4.32‰, 均为中度盐碱化土地, 土壤质地偏黏重。种植区内地势平整, 各播期处理耕作方式及田间管理方式等均保持一致, 能够满足花生对旱涝灾害和农业病虫害的防御要求。

1.2 试验设计

每个试验点均播种花生 6 期。以研究区常年稳

定通过 15℃ 初日 (利津 4 月 25 日, 垦利 4 月 26 日) 播种作对照 (CK, 记作 T_2), 前推 7d (利津 4 月 18 日, 垦利 4 月 19 日) 播种为 T_1 处理, 后推 7d (利津 5 月 2 日, 垦利 5 月 3 日)、14d (利津 5 月 9 日, 垦利 5 月 10 日)、21d (利津 5 月 16 日, 垦利 5 月 17 日) 和 28d (利津 5 月 23 日, 垦利 5 月 24 日) 播种分别为 T_3 、 T_4 、 T_5 和 T_6 处理, 最早与最晚播种期相差 35d。每个处理设 3 个重复。小区随机排列, 每小区面积 15m², 各小区间留有 0.5m 宽保护间隔。播种方式采用直播覆膜, 南北方向双粒穴播, 一垄双行, 垄距 85cm, 垄上小行距 30cm, 穴距 17cm, 播种深度 4cm, 植株间保持良好的通风透光。

1.3 观测项目及方法

1.3.1 发育期观测

按照观测植株上出现某一发育特征的群体占观测总株数 50%或以上作为发育普遍期的标准, 依次观测花生播种、出苗、开花、下针、结荚和成熟期。

1.3.2 生长量观测

在出苗、开花、下针、结荚和成熟期分别测定花生株高、干物质重量、叶面积等生长量。从土壤表面量至主茎顶端, 每小区顺序选 5 穴分别记录株高 (cm), 取平均值, 取一位小数; 每小区取 5 穴沿地面剪下, 用塑料薄膜包好, 分别按根、叶片、叶柄、分枝、荚果进行分类称取鲜重, 再分器官装袋, 烘干后称取干重, 取平均值 ($g \cdot \text{株}^{-1}$), 取二位小数; 在叶片鲜重称量完成后, 从总样本中任取 10 个叶片, 采用叶片打孔法测定 10 个叶片总面积并称量其鲜重, 将面积与鲜重的比值作为换算系数, 乘以总样本叶鲜重获得总叶面积, 然后折算得到单株叶面积 ($\text{cm}^2 \cdot \text{株}^{-1}$), 取一位小数。

1.3.3 植株密度观测

在出苗和成熟期分别测定植株密度。(1) 选取小区内有代表性的测点作标记, 每次密度测定都在此进行。(2) 测量连续 10 个行距的宽度, 计算平均 1m 内行数; 测量连续 10 个穴距的长度, 数出其中株数, 计算平均 1m 内株数。(3) 植株密度 ($\text{株} \cdot \text{m}^{-2}$) = 平均 1m 内行数 × 平均 1m 内株数, 取二位小数。

1.3.4 产量因素观测

在成熟期测定单株荚果数、荚果重、百粒重等产量因素。收获前在观测地段取样, 每个区连续取 5 穴共 15 穴。先数出样本总株数、总荚果数和空秕荚果数, 单株荚果数 = 总荚果数 / 株数, 取一位小数; 将

样本植株的全部结实荚果 (总荚果数 - 空秕荚果数), 晾晒干后称重, 计算平均株荚果重 (g), 取一位小数; 荚果脱粒, 将晾晒干的子粒充分混合后, 以 100 粒为一组任意数出两组, 分别称重至两组差值不大于平均值的 3% 时, 两组的平均重记为百粒重 ($g \cdot 100\text{-grain}^{-1}$), 取一位小数。考种方法均按《农业气象观测规范》^[31] 相关规定进行。

1.3.5 气象要素观测

依照《地面气象观测规范》^[32] 相关规定开展发育期内光温水等气象要素的观测工作。气温观测采用铂电阻温度传感器测定, 通过正点数据计算日平均气温, 数据精度为 0.1℃。

各播期生物量及产量要素观测均取 3 次重复; 两试验点各要素的观测平均值为黄河三角洲试验区观测代表值。

1.4 数据处理

以单位土地面积上的绿色叶面积倍数作为叶面积指数。

$$LAI = \frac{S_2}{S} \quad (1)$$

式中, LAI 为叶面积指数, S_2 为绿叶面积 (cm^2), S 为土地面积 (10000cm^2)。

对不同播期处理的花生生长量等资料进行单因素方差分析, 对 F 测验显著因子采用最小显著差异法 (LSD 法) 进行多重比较以确定不同处理与对照的差异。

采用 χ^2 检验对花生饱、秕荚果数进行独立性测验。

$$\chi^2 = \sum \frac{(O - E)^2}{E} \quad (2)$$

式中, O 为实际观测次数, E 为理论次数。

结合理论产量进行产量要素分析。

$$\text{理论产量} (g \cdot m^{-2}) = \text{单株荚果重} \times 1m^2 \text{株数} \quad (3)$$

利用五日滑动平均法确定界限温度的初、终日期和持续天数, 并计算其积温 ($^{\circ}\text{C} \cdot \text{d}$)。

$$A_a = \sum_{i=1}^n t_i \quad (4)$$

式中, A_a 为积温 ($^{\circ}\text{C} \cdot \text{d}$), n 为日数 (d), t_i 为日平均气温 ($^{\circ}\text{C}$)。

利用统计时段内某一气象要素值高于或低于某一界限的频率即保证率^[33]概念, 计算稳定通过某界限温度的初、终日期或活动积温的保障程度, 进而

推算适宜播期和最佳播期。文中利用利津和垦利两个国家气象观测站 1990–2019 年的逐日气温资料，统计近 30a 稳定通过各界限温度的日期及活动积温。

采用 Microsoft Excel 2007 软件进行数据整理，采用 SPSS 21.0 软件进行统计分析。

2 结果与分析

2.1 不同播期花生发育进程比较

不同播期花生发育进程情况如表 1，由表可见，两试验点均表现出播种期对花生的生长发育进程有明显影响。总体上看，随着播期推后花生整个发育期天数逐渐缩短，比 CK 即 T₂ 处理早播 7d 的 T₁ 处理花生的发育期长达 131d，迟播 28d 的最晚播期处理 T₆ 花生发育期最短，仅 111d，两者相差 20d；进一步分析对比不同播期各发育阶段的时长可见，各

发育期天数一般也随播期推后而缩短，播种–出苗期、出苗–开花期、开花–下针期、下针–荚果期、荚果–成熟期分别最多可相差 6、6、8、1 和 9d，表明各处理进入发育期的时间以及各生育阶段的持续天数均因播期不同有较大差异。由上述可见，花生发育期时长与播期关系密切，播期过迟会使发育期偏短、花针期天数减少，易导致花生干物质积累受限，影响下针数量，使荚果数降低等，进而影响产量；进入下针期后随着发育进程的后移，结荚期发育时间趋于一致，表明花生发育前期对气象环境表现更敏感；在各播期处理中，T₂–T₄ 播期的花生出苗、开花和下针期持续时长相对适中，同时其荚果成熟期持续时间相对更长，更利于荚果充盈饱满，提高产量。

表 1 不同播期花生各发育期持续天数比较
Table 1 Comparison of developmental duration days of peanut at different sowing dates

试验点 Site	处理 Treatment	播种–出苗		出苗–开花 Seedling		开花–下针		下针–结荚		荚果成熟		发育期天数 Development days(d)
		Sowing-seedling		-flowering		Flowering -pegging		Pegging -pod setting		Maturity		
		出苗(月– 日)Seedling	天数	开花(月– 日)Flowering	天数	下针(月–日) Pegging	天数	结荚(月. 日)Pod-settin g (mm-dd)	天数	成熟(月– 日)Maturit y (mm-dd)	天数	
		(mm-dd)	Days(d)	(mm-dd)	Days(d)	(mm-dd)	Days(d)	(mm-dd)	Days(d)	(mm-dd)	Days(d)	
利津	T ₁	05-04	16	05-27	23	06-10	14	07-10	30	08-27	48	131
Lijin	T ₂	05-09	14	05-29	20	06-10	12	07-11	31	09-02	53	130
	T ₃	05-13	11	06-03	21	06-13	10	07-13	30	09-04	53	125
	T ₄	05-20	11	06-10	21	06-17	7	07-17	30	09-06	51	120
	T ₅	05-30	14	06-17	18	06-26	9	07-26	30	09-08	44	115
	T ₆	06-02	10	06-21	19	06-27	6	07-27	30	09-11	46	111
垦利	T ₁	05-04	15	05-27	23	06-09	13	07-11	32	08-28	48	131
Kenli	T ₂	05-09	13	05-30	21	06-10	11	07-12	32	08-29	48	125
	T ₃	05-14	11	06-03	20	06-13	10	07-16	33	09-02	47	121
	T ₄	05-20	10	06-10	21	06-17	7	07-19	32	09-09	52	122
	T ₅	05-30	13	06-17	18	06-26	9	07-28	32	09-16	50	122
	T ₆	06-03	10	06-20	17	06-27	7	07-29	32	09-19	52	118

注：T₁、T₂、T₃、T₄、T₅、T₆分别表示比 CK 早播 7d、CK、比 CK 迟播 7、14、21 和 28d 的播期处理。下同。
Note: T₁,T₂,T₃,T₄,T₅ and T₆ indicates the treatment of sowing date of 7 days earlier than CK, CK, 7 days later than CK, 14 days later than CK, 21 days later than CK and 28 days later than CK. The same as below.

2.2 不同播期花生生长量比较

2.2.1 株高

不同播期花生株高变化情况如图 1。由图可见，试验区花生株高受播期影响差异显著。在花生发育前期，株高随播期从早到晚大致呈高–低–高分布，发育后期大致呈低–高–低–高分布，T₂–T₄播期其花针

期株高增长相对更均衡、结荚期株高更接近成熟期最大值，更利于植株养分积累和荚果成熟期产量形成。方差分析显示，花生苗期、花针期、成熟期株高在不同播期差异显著，分别最大可相差 1.7、4.2 和 16.3cm，其中 T₆ 处理株高旺长趋势明显，不利于生育期内干物质转化。结荚期各处理株高差异不显著。

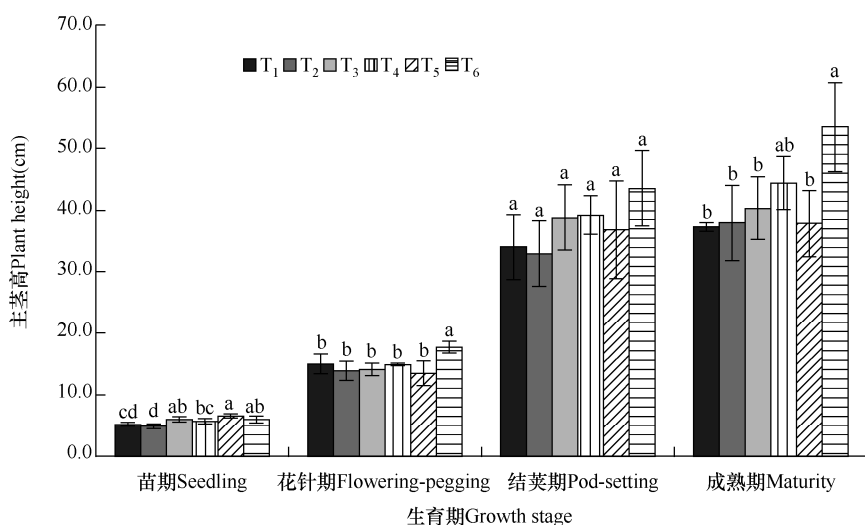


图 1 不同播期处理花生各发育期株高比较

Fig. 1 Comparison of plant height of peanut at different sowing dates and different growth stages

注：小写字母表示处理间在 0.05 水平上的差异显著性。短线表示标准差。下同。

Note: Lowercase indicates the difference significance among treatments at 0.05 level. The bar is standard deviation. The same as below.

2.2.2 叶面积指数

不同播期花生叶面积指数变化情况如图 2。由图可见，试验区叶面积指数按发育进程依次呈小—次小—最大—次大的变化规律。随着播期推延，花生苗期叶面积指数有增大趋势，而花针期和结荚期叶面积指数呈下降趋势，一般最大峰值为 T₁ 处理，最小谷值为 T₅ 或 T₆ 处理，成熟期叶面积指数有先升后降的趋势，表明 T₅ 或 T₆ 迟播处理生育期内气温偏高，利于花生叶片抽出，促其苗期生长，T₁ 早播处理生育后期的气候条件更利于花生花针期和结荚期的叶

面积增长，而 T₂—T₄ 播期可以合理兼顾利用早播和迟播的优势，即苗期处于气温回升阶段，生育后期也可充分利用气候资源，从而使各发育期叶面积分配更协调，更利于成熟期时干物质从“源”到“库”的转移积累。方差分析显示，花生花针期和结荚期叶面积指数在不同播期差异显著，分别最大可相差 2.2 倍和 6.8 倍，其中 T₂—T₄ 播期叶面积变化规律相对适中平缓，避免了因早播或迟播致各发育期内叶面积变化出现不均衡的现象。苗期和成熟期叶面积指数差异不显著。

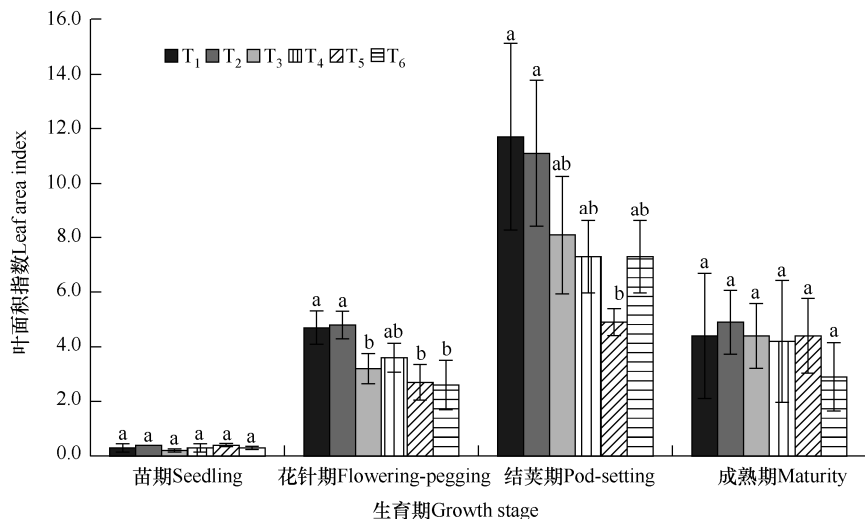


图 2 不同播期花生各发育期叶面积指数比较

Fig. 2 Comparison of leaf area index of peanut at different sowing dates and different growth stages

2.2.3 干物质积累与分配

不同播期花生干物质积累分布情况如表 2。由表可见，根、茎、叶积累量一般在结荚期前逐渐递增，结荚期时达到峰值，而后呈递减趋势，成熟期积累量下降为次高值；荚果积累量在花针期后逐渐递增，至成熟期时积累量达到峰值；部分晚播花生出现成熟期总干物质积累量低于荚果期的现象，表明过迟播种花生或因前期旺长消耗过多养分而导致后期植株早衰。由根、茎、叶、荚果的分配率情况可以看出，花生发育前期即营养生长期叶片生长较快，其

进行光合作用产生较高的光合产物为花生壮苗奠定基础，发育中期即营养生长与生殖生长并进期茎、荚果生长增快，根、叶分配率逐渐下降，后期进入生殖生长期后荚果生长快，分配率最高。方差分析显示，不同播期的根、茎、叶、荚果分别在不同发育期存在显著差异性，随播种期推迟，花生荚果积累量呈现先升后降的趋势，T₂–T₄播期处理的成熟期荚果积累量和分配率较高且与其它播期差异显著，表明适宜的播期有利于干物质向荚果转运，以增加荚果干重和果实饱满度，有助于提高产量。

表 2 不同播期花生各发育期干物质分配比较

Table 2 Comparison of dry matter distribution ratio (DR) and accumulation (AT) of peanut at different sowing dates and different growth stages

发育期 Stage	处理 Treatment	根 Root		茎 Stem		叶 Leaves		荚果 Pods		总积累量 Total AT (g·plant ⁻¹)
		积累量	分配率	积累量	分配率	积累量	分配率	积累量	分配率	
		AT (g·plant ⁻¹)	DR (%)	AT (g·plant ⁻¹)	DR (%)	AT (g·plant ⁻¹)	DR (%)	AT (g·plant ⁻¹)	DR (%)	
苗期 Sowing	T ₁	0.223a	19.00a	0.448b	38.22a	0.501b	42.78b	—	—	1.171b
	T ₂	0.187a	16.85ab	0.423b	38.06a	0.501b	45.09b	—	—	1.110b
	T ₃	0.212a	20.65a	0.384b	37.41a	0.431b	41.94b	—	—	1.027b
	T ₄	0.220a	20.54a	0.413b	38.65a	0.436b	40.80b	—	—	1.069b
	T ₅	0.231a	12.44b	0.611a	32.95a	1.012a	54.61a	—	—	1.853a
	T ₆	0.168a	14.67b	0.453b	39.64a	0.522b	45.69b	—	—	1.142b
花针期 Flowering-pegging	T ₁	0.837a	5.71a	6.593a	45.00a	7.222a	49.29a	—	—	14.651a
	T ₂	0.713ab	5.07a	6.632a	47.18a	6.713a	47.75a	—	—	14.057ab
	T ₃	0.610bc	4.82a	5.953ab	47.05a	6.090a	48.13a	—	—	12.652ab
	T ₄	0.589bc	4.85a	5.101ab	42.01a	6.453a	53.15a	—	—	12.142ab
	T ₅	0.429c	4.24a	4.877ab	48.25a	4.802a	47.51a	—	—	10.108b
	T ₆	0.479c	4.79a	4.341b	43.39a	5.185a	51.82a	—	—	10.005b
结荚期 Pod-setting	T ₁	2.219ab	3.26ab	26.316a	38.70a	15.688a	23.07c	23.771a	34.96b	67.994a
	T ₂	2.329a	3.62a	25.335a	39.36a	16.419a	25.51bc	20.283ab	31.51b	64.365a
	T ₃	1.387ab	2.23bc	23.564a	37.84a	17.999a	28.91bc	19.318ab	31.02b	62.267a
	T ₄	1.113ab	2.08bc	19.498a	36.42a	15.852a	29.61b	17.070ab	31.89b	53.532a
	T ₅	0.919b	1.67c	16.945a	30.87b	14.712a	26.80bc	22.314ab	40.65a	54.889a
	T ₆	0.938b	1.99bc	20.326a	43.12a	16.116a	34.19a	9.763b	20.71c	47.142a
成熟期 Maturity	T ₁	1.040ab	1.68a	15.434a	25.01ab	10.114ab	16.39a	35.112ab	56.91ab	61.698ab
	T ₂	1.255a	1.84a	17.078a	25.01ab	11.609a	17.00a	38.333ab	56.15ab	68.274a
	T ₃	0.960ab	1.43a	17.045a	25.31ab	10.441ab	15.50a	38.908ab	57.77a	67.354a
	T ₄	1.156ab	1.64a	16.577a	23.59b	11.016a	15.68a	41.508a	59.08a	70.256a
	T ₅	0.976ab	2.11a	13.283a	28.77a	7.614bc	16.49a	24.288c	52.62b	46.160b
	T ₆	0.759b	1.54a	13.873a	28.24ab	6.838c	13.92a	27.654bc	56.30a	49.123ab

2.3 不同播期花生产量要素比较

2.3.1 荚果数和植株密度

对不同播期处理的花生成熟期饱果数和秕果数进行统计并进行独立性 χ^2 检验，两试验点均表现差异显著， χ^2 值分别为 11.170 和 25.515，显著性水平分别为 0.048 和 0.000，因此认为播期对花生饱果数量有显著影响，主要表现为 T₁–T₄ 播期处理荚果数普遍多于

T₅–T₆ 播期，但饱果率大小表现为 T₁ 和 T₅、T₆ 相对较高，表明 T₂–T₄ 播期处理饱果率提升潜力更大。

不同播期花生三真叶期和成熟期植株密度分布如表 3。由表可见，两试验点均表现为 T₂–T₄ 播期植株密度更大，且成熟期植株密度与三真叶期植株密度差值更小的状况，表明适期播种更利于花生苗全和植株成活；方差分析显示，两试验点各处理成熟

表 3 不同播期花生各生育阶段植株密度比较

Table 3 Comparison of plant density of peanut at different sowing dates and different growth stages

试验点 Site	处理 Treatment	三真叶期 Three-leave(plant·m ⁻²)	成熟期 Maturity(plant·m ⁻²)
利津 Lijin	T ₁	18.08b	15.83b
	T ₂	25.42a	22.80ab
	T ₃	23.80ab	21.46a
	T ₄	23.20ab	22.21a
	T ₅	18.97b	18.88ab
	T ₆	18.66b	16.37b
垦利 Kenli	T ₁	22.94a	20.85b
	T ₂	24.31a	24.22ab
	T ₃	23.33a	23.04ab
	T ₄	22.94a	22.45ab
	T ₅	22.25a	20.98ab
	T ₆	22.08a	21.90a

期植株密度均差异显著,其中利津成熟期植株密度差异达极显著水平($P<0.01$),表明花生生长期植株密度分布受播期影响大,主要表现为 T₂-T₄ 播期处理出苗率高、成熟期植株密度大的特征。

表 4 不同播期花生产量比较

Table 4 Comparison of peanut yield at different sowing dates

处理 Treatment	实测产量 Actual yield(g·m ⁻²)						与 CK 百分比 Percentage to CK(%)	矫正产量 Corrected yield (kg·hm ⁻²)	位次 Rank	
	利津 Lijin			垦利 Kenli						试验区 Test area
	I	II	III	I	II	III				
T ₁	288.27	740.68	715.94	464.71	582.35	676.47	578.07	88.3	5781.00	4
T ₂	591.30	670.43	734.89	511.76	717.65	700.00	654.34	100.0	6543.75	2
T ₃	828.90	553.97	682.67	635.29	682.35	688.24	678.57	103.7	6786.00	1
T ₄	552.74	638.79	701.21	617.65	676.47	652.94	639.97	97.8	6400.05	3
T ₅	531.38	487.00	555.67	435.29	405.88	605.88	503.52	77.0	5035.50	6
T ₆	609.40	603.17	404.58	452.94	605.88	658.82	555.80	84.9	5558.25	5

注: I、II、III表示重复小区。

Note: I, II, III is replicated plot.

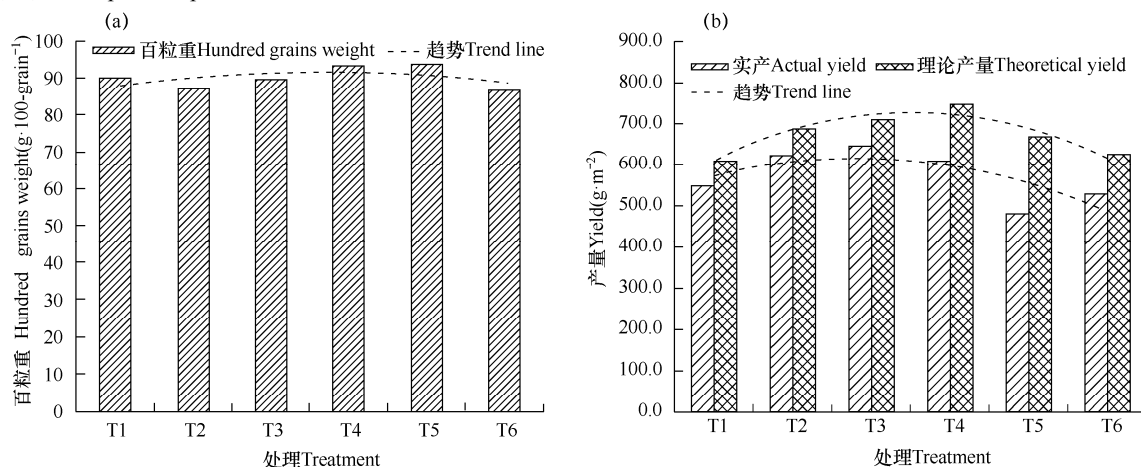


图 3 不同播期花生百粒重和产量比较

Fig. 3 Comparison of 100-grain weight and yield of peanut among different sowing date treatments

2.3.2 产量和百粒重

不同播期花生产量比较如表 4。由表可见,两试验点花生产量均表现为 T₂-T₄ 播期处理排前 3 位, T₁、T₆、T₅ 依次分列第 4、5、6 位; 利用对比法将试验区各播期产量与 T₂ 处理即 CK 的百分比进行比较, 前 3 位 T₃、T₂、T₄ 播期处理间产量最大差值为 5.9%, 分别较第 4 位偏高 15.4%、11.7% 和 9.5%, 依此可判定前 3 位产量值对应播期处理的生产力相差不大, 且均明显优于其它处理。另对花生其它产量要素的分析表明, 随着播期推延, 一次分枝数、株荚果数和株荚果重均大致呈前多后少或前高后低走势, 饱果率基本呈前后高中间低分布, 百粒重与产量均呈前后低中间高即先升后降的态势(图 3), 试验区各处理的花生实测产量和理论产量均表现为 T₂-T₄ 播期处理普遍高于 T₁、T₅ 和 T₆ 播期, 最高实测产量和最高理论产量分别为 678.6g·m⁻² 和 788.3g·m⁻², 对应出现在 T₃ 和 T₄ 播期。由上述综合分析可知, 过早或过迟播种均不利于花生实现高产, 而适期晚播可提高花生产量, 即 T₂-T₄ 播期为利于盐碱地花生增产的适宜播期。

2.4 结合气温因素确定花生适宜播期

依据对不同播期花生生长量、产量等要素的综合分析,选择 T_2 – T_4 播期处理作为试验年 2019 年的适宜播种时段,结合近 30a 的气象资料数据,通过计算保证率的方法确定一般年份的适宜播期和最佳播期。统计表明,2019 年 T_2 、 T_3 和 T_4 处理播种期分别对应当年日均气温稳定通过 13、17 和 20℃ 的初日,最晚收获日对应当年日均气温稳定通过 20℃ 的终日。对近 30a 各初终日期的保证率进行统计分析如图 4,由图可见,两试验点达到 80% 保证率的稳定通过 13、17、20℃ 初日分别为 4 月 26 日和 28 日、5 月 4 日和 5 月 2 日、5 月 17 日和 15 日,可以此作为待定播期,达

到 80% 保证率的稳定通过 20℃ 终日为 9 月 13 日和 14 日,可将此作为最晚收获期。对 T_2 – T_4 播期处理的全生育期积温进行统计,两试验点花生的全生育期积温下限均在 3100℃·d 以上,上限均在 3200℃·d 以上,根据作物发育成熟均需要一定积温的原理,利用 80% 保证率标准逐日计算待定播期至最晚收获期之间的积温,并使积温值分别满足 T_2 – T_4 播期处理所对应的全生育期上下限积温的需求(图 5),进而得到花生适宜播期为 4 月 26 日–5 月 9 日,过迟播种则不易达到全生育期积温下限的需求,最佳播期为 5 月 2–5 日,此期内播种温度条件充足,更利于花生高产稳产。

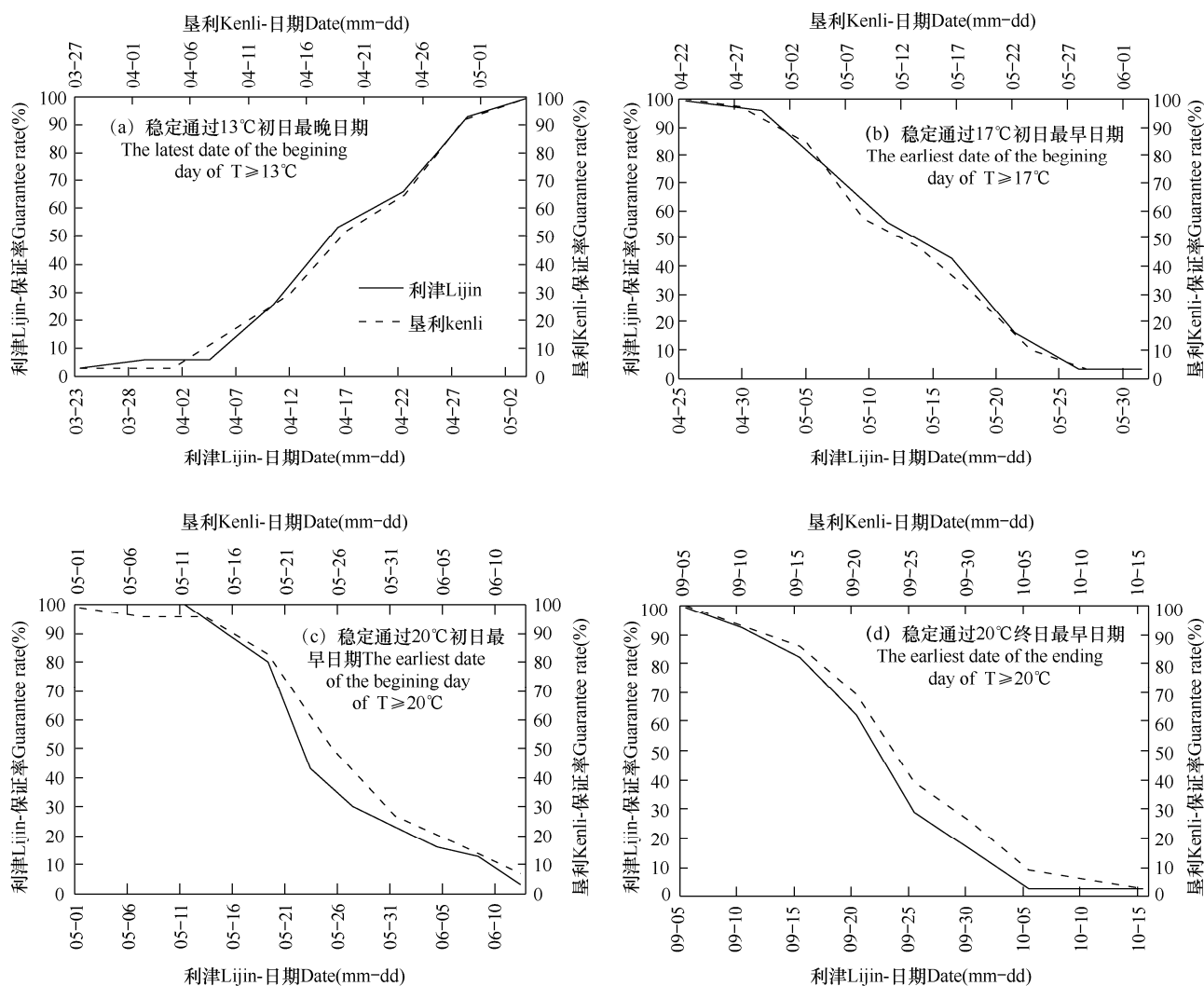


图 4 两个试验地点 1990–2019 年日平均气温 (T) 稳定通过 4 种界限温度日的保证率变化曲线

Fig. 4 Accumulated frequency curves of the day when daily mean temperature (T) steadily pass four critical temperatures from 1990 to 2019 at two sites

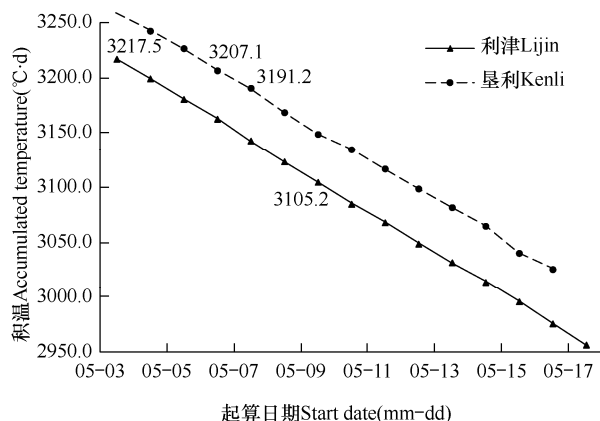


图 5 全生育期积温与播期起算日关系示意图

Fig.5 Schematic diagram of the relationship between accumulated temperature during the whole growth period and sowing date

3 结论与讨论

3.1 结论

(1) 花生发育进程与播种期关系密切, 其中发育前期对气象环境反应更敏感; 花生发育期天数一般随播期推后逐渐缩短, 最早与最迟两播期处理之间可相差 20d; 播期过迟会影响干物质积累、减少下针数量等, 导致荚果重量偏低进而影响产量; 适期播种花生可使发育前期时长适中、荚果成熟期饱果时间长, 利于提高产量。

(2) 花生生长量要素受播期影响差异显著。适期播种的花生株高变化均衡, 苗期正值气温回升, 下针-结荚期降水资源充沛, 叶面积分配协调, 更利于植株养分积累和干物质从“源”到“库”的转移; 过迟播种花生有出现成熟期总干物质积累量低于荚果期的现象, 表明发育前期旺长会消耗过多养分而导致后期植株早衰, 而适期播种的花生荚果积累量和分配率较高且与其它播期差异显著, 表明适期播种利于增加荚果干重和提升果实饱满度。

(3) 播期对花生饱果数有显著影响, 适期播种的花生荚果数较多且饱果率提升潜力大; 适期播种利于花生苗全苗壮, 使成熟期植株密度更大, 有助于提高产量; 过早或过晚播种的花生均较对照减产 10%以上, 适期播种的花生其产量和百粒重均明显优于其它播期。

(4) 试验年的适宜播期处于日均气温稳定通过 13~20℃ 初日期间, 最晚收获日为日均气温稳定通过 20℃ 的终日; 常年适宜播期一般为 4 月 26 日-5 月 9 日, 过迟播种则不易在稳定通过 20℃ 终日前达到全生育期积温下限的要求, 使成熟后期发育迟缓

致荚果不实; 5 月 2-5 日为研究区最佳播期, 期间播种温度条件充足, 更利于花生高产稳产。

3.2 讨论

分期播种可以通过改变作物发育期内的气象条件^[34], 实现生育年内同一品种作物不同气象条件下的对比, 是充分利用自然资源, 降低环境影响, 缩短研究周期的有效方法^[35]。本研究利用 2019 年盐碱地花生分期播种试验资料, 采用多种统计方法对不同播期条件下花生生长差异进行分析, 并通过计算保证率的方法评价气象要素资源的保障程度, 为研究花生生长特性及科学确定适宜播期提供了一定的理论依据。通过调整花生播期, 可使花生各发育阶段对应的气象条件发生变化, 过早播种会因前期气温偏低影响幼苗生长, 造成缺苗现象, 过晚播种则易使植株出现旺长且生育期缩短影响干物质积累等, 均对产量提升有抑制作用, 而适期播种将使花生维持较高的叶面积指数以提高光合效率、延长荚果成熟期持续时间, 有助于干物质向荚果转运使荚果充盈等, 进而促进产量提升; 适宜的播期还可使花生在其水分临界敏感期获得较多的降水量, 利于果针入土, 提高荚果数等, 也可使饱果期处于秋高气爽、日照充足、光合辐射较高的天气时段, 更利于提高饱果率和荚果发育速度, 获得较高产量。统计结果表明, 试验年日均气温稳定通过 13℃ 初日时, 对应日均 5cm 土壤温度已稳定通过 15℃, 这与刘洪顺等^[36]描述的花生种子发芽温度需在 15℃ 以上的研究结果相吻合, 进一步佐证了黄河三角洲滨海盐碱地花生在直播覆膜条件下适宜播期宜选择在 4 月下旬后期-5 月上旬, 最佳播期宜选择在 5 月上旬前中期的结论。另外, 由于作物生长受品种性状、地域类型、气象因素等影响较大^[37-38], 引起差异性的原因也较复杂, 本研究也存在试验品种单一、试验时间短等不足之处, 其它地区或极端气候年份适宜播期的确定, 可结合对应的气象资料和生产试验结果建立模拟模型, 进行播期优化。

参考文献 References

- [1] 王文卿, 陈琼. 南方滨海耐盐植物资源[M]. 厦门: 厦门大学出版社, 2013: 2.
Wang W Q, Chen Q. Salt-tolerant plant resources in southern coastal areas[M]. Xiamen: Xiamen University Press, 2013: 2. (in Chinese)

- [2] 钦佩,周春霖,安树青,等.海滨盐土农业生态工程[M].北京:化学工业出版社,2002:5.
Qin P,Zhou C L,An S Q,et al.Coastal saline soil agricultural ecological engineering[M].Beijing:Chemical Industry Press, 2002: 5.(in Chinese)
- [3] 赵明范.世界土壤盐渍化现状及研究趋势[J].世界林业研究,1994,7(1):84-86.
Zhao M F.The current status and research trend of soil salinization in the world[J].World Forestry Research,1994, 7(1):84-86.(in Chinese)
- [4] 王遵亲,祝寿泉,愈仁培,等.中国盐渍土[M].北京:科学出版社,1993:7.
Wang Z Q,Zhu S Q,Yu R P,et al.Chinese saline soil[M]. Beijing:Science Press,1993:7.(in Chinese)
- [5] 刘兆普,沈其荣,尹金来.滨海盐土农业[M].北京:中国农业科技出版社,1998:3.
Liu Z P,Shen Q R,Yin J L.Coastal salt soil agriculture[M]. Beijing:China Agricultural Science and Technology Press,1998:3.(in Chinese)
- [6] 刘阳春,何文寿,何进智,等.盐碱地改良利用研究进展[J].农业科学研究,2007,28(2):68-71.
Liu Y C,He W S,He J Z,et al.Progress of improvement and utilization of saline-alkali land[J].Journal of Agricultural Sciences,2007,28(2):68-71.(in Chinese)
- [7] 杨泽龙,巴彦,冯日升,等.内蒙古杭锦旗北部盐碱田温湿盐动态与生产利用[J].中国农业气象,2010,31(3):374-378.
Yang Z L,Ba Y,Feng R S,et al.Temperature,humidity and salinity dynamic of stalinization land and its agricultural utilization in Hangjin Banner in Inner Mongolia[J].Chinese Journal of Agrometeorology,2010,31(3):374-378.(in Chinese)
- [8] 白由路,李保国.黄淮海平原盐渍化土壤的分区与管理[J].中国农业资源与区划,2002,23(2):44-47.
Bai Y L,Li B G.Regional division and management of saline soil in Huang-Huai-Hai Flatlands[J].Journal of China Agricultural Resources and Regional Planning, 2002,23(2):44-47.(in Chinese)
- [9] 李鹏,潘英华,何福红,等.黄河三角洲湿地土壤毛管水运动特性研究[J].中国农业气象,2017,38(6):378-387.
Li P,Pan Y H,He F H,et al.Research on capillary water absorption characteristics of Yellow River Delta wetland soil[J].Chinese Journal of Agrometeorology, 2017,38(6): 378-387.(in Chinese)
- [10] 李志杰,孙文彦,马卫萍,等.盐碱土改良技术回顾与展望[J].山东农业科学,2010(2):73-77.
Li Z J,Sun W Y,Ma W P,et al.Review and prospects of improvement technology for saline-alkali soil[J].Shandong Agricultural Sciences,2010(2):73-77.(in Chinese)
- [11] 郭洪海,杨丽萍,李新华,等.黄淮海区域花生生产与品质特征的研究[J].中国生态农业学报,2010,18(6):1233-1238.
Guo H H,Yang L P,Li X H,et al.Characteristics of production and quality of peanut in Huang-Huai-Hai region[J].Chinese Journal of Eco-Agriculture, 2010,18(6): 1233-1238.(in Chinese)
- [12] Grey T L,Diera A,Moore J,et al.Effect of pyrasulfotole carryover to peanut and tobacco[J].Weed Technology, 2017,31(5):651-657.
- [13] Sharma S,Pandey M K,Sudini H K,et al.Harnessing genetic diversity of wild arachis species for genetic enhancement of cultivated peanut[J].Cropscience,2017,57(3):1121-1131.
- [14] 胡文广,邱庆树,李正超,等.花生品质的影响因素研究[J].花生学报,2002,31(4):14-18.
Hu W G,Qiu Q S,Li Z C,et al.Studies of the effect factors on peanut qualities[J].Journal of Peanut Science,2002, 31(4):14-18.(in Chinese)
- [15] 王玉池,来学仁,郑香玲.豫西地区花生中低产田的制约因素及增产技术初探[J].花生科技,1999(S1):397-399.
Wang Y C,Lai X R,Zheng X L.Research on restricting factors and increasing production techniques of Western Henan peanut middle and low yield fields[J].Peanut Science and Technology,1999(S1):397-399.(in Chinese)
- [16] 郭峰,万书波,王才斌,等.宽幅麦田套种田间小气候效应及对花生生长发育的影响[J].中国农业气象,2008, 29(3):285-289.
Guo F,Wan S B,Wang C B,et al.Micro-climatic effects of intercropped peanut with wheat and its influence on peanut growth and development[J].Chinese Journal of Agrometeorology, 2008,29(3):285-289.(in Chinese)
- [17] 吴正锋,刘俊华,万书波,等.遮光持续时间对花生荚果产量和品质的影响[J].山东农业科学,2011(2):30-33.
Wu Z F,Liu J H,Wan S B,et al.Effect of shading duration on pod yield and quality of peanut[J].Shandong Agricultural Sciences,2011(2):30-33.(in Chinese)
- [18] 娄伟平,吴旭江.地膜覆盖栽培对小京生花生土壤温湿度的调控及其生物学效应[J].中国农业气象,2005, 26(1):

- 58-60.
- Lou W P, Wu X J. Analysis on effects of peanut mulched with film[J]. Chinese Journal of Agrometeorology, 2005, 26(1): 58-60. (in Chinese)
- [19] 王飞. GIS 支持的福建省秋花生种植气温适宜性评价[J]. 中国农业气象, 2007, 28(2): 170-173.
- Wang F. Suitability evaluation of air temperature for autumn peanut (*Arachis hypogaea*) planting in Fujian Province based on GIS[J]. Chinese Journal of Agrometeorology, 2007, 28(2): 170-173. (in Chinese)
- [20] 李新华, 郭洪海, 杨丽萍, 等. 气象因子对花生品质的影响[J]. 中国农学通报, 2010, 26(16): 90-94.
- Li X H, Guo H H, Yang L P, et al. The effect of climatic factors on peanut quality[J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2010, 26(16): 90-94. (in Chinese)
- [21] 史可琳, 薛晓萍, 宋景义, 等. 花生品质气象条件初探[J]. 花生科技, 1994(1): 5-7.
- Shi K L, Xue X P, Song J Y, et al. Preliminary study on meteorological conditions of peanut quality[J]. Peanut Science and Technology, 1994(1): 5-7. (in Chinese)
- [22] 朱霞, 杨佃志. 影响花生产量的气象学因素及对策[J]. 北京农业, 2012(15): 20-21.
- Zhu X, Yang D Z. Meteorological factors and countermeasures affecting peanut yield[J]. Beijing Agriculture, 2012(15): 20-21. (in Chinese)
- [23] 李锦辉, 汤丰收. 花生抗旱育种研究进展[J]. 花生学报, 2002, 31(2): 23-26.
- Li J H, Tang F S. Advances in breeding for drought resistance in peanut[J]. Journal of Peanut Science, 2002, 31(2): 23-26. (in Chinese)
- [24] 王育红, 姚宇卿, 吕军杰, 等. 花生抗旱指标研究初报[J]. 干旱地区农业研究, 2002, 20(3): 89-92.
- Wang Y H, Yao Y Q, Lv J J, et al. A preliminary study on the indexes of peanut varieties[J]. Agricultural Research in the Arid Areas, 2002, 20(3): 89-92. (in Chinese)
- [25] Qin F F, Xu H L, Ci D W. Drought stimulation by hypocotyl exposure altered physiological responses to subsequent drought stress in peanut seedlings[J]. Acta Physiologiae Plantarum, 2017, 39(7): 152.
- [26] 严美玲, 李向东, 林英杰, 等. 苗期干旱胁迫对不同抗旱花生品种生理特性、产量和品质的影响[J]. 作物学报, 2007, 33(1): 113-119.
- Yan M L, Li X D, Lin Y J, et al. Effects of drought during seedling stage on physiological traits, yield and quality of different peanut cultivars[J]. Acta Agronomica Sinica, 2007, 33(1): 113-119. (in Chinese)
- [27] 李林, 邹冬生, 刘登望, 等. 花生等农作物耐湿涝性研究进展[J]. 中国油料作物学报, 2004, 26(3): 105-110.
- Li L, Zou D S, Liu D W, et al. Research progress on waterlogging in peanut and other crops[J]. Chinese Journal of Oil Crop Sciences, 2004, 26(3): 105-110. (in Chinese)
- [28] 张智猛, 慈敦伟, 丁红, 等. 花生品种耐盐性指标筛选与综合评价[J]. 应用生态学报, 2013, 24(12): 3487-3494.
- Zhang Z M, Ci D W, Ding H, et al. Indices selection and comprehensive evaluation of salinity tolerance for peanut varieties[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2013, 24(12): 3487-3494. (in Chinese)
- [29] 慈敦伟, 丁红, 张智猛, 等. 花生耐盐性评价方法的比较与应用[J]. 花生学报, 2013, 42(2): 28-35.
- Ci D W, Ding H, Zhang Z M, et al. Comparison and application of different evaluation methods on peanut salt tolerance[J]. Journal of Peanut Science, 2013, 42(2): 28-35. (in Chinese)
- [30] 张智猛, 戴良香, 慈敦伟, 等. 种植密度和播种方式对盐碱地花生生长发育、产量及品质的影响[J]. 中国生态农业学报, 2016, 24(10): 1328-1338.
- Zhang Z M, Dai L X, Ci D W, et al. Effects of planting density and sowing method on growth, development, yield and quality of peanut in saline alkali land[J]. Chinese Journal of Eco-Agriculture, 2016, 24(10): 1328-1338. (in Chinese)
- [31] 国家气象局. 农业气象观测规范(上卷)[M]. 北京: 气象出版社, 1993: 7-34.
- China Meteorological Administration. Agricultural meteorological observations (Volume I)[M]. Beijing: Meteorological Press, 1993: 7-34. (in Chinese)
- [32] 国家气象局. 地面气象观测规范[M]. 北京: 气象出版社, 2003: 43.
- China Meteorological Administration. Ground-based meteorological observations[M]. Beijing: Meteorological Press, 2003: 43. (in Chinese)
- [33] 陈丹, 钟思强, 安文芝, 等. 农业气象[M]. 北京: 气象出版社, 2009: 163-165.
- Chen D, Zhong S Q, An W Z, et al. Agrometeorology[M]. Beijing: Meteorological Press, 2009: 163-165. (in Chinese)

- [34] 明博,朱金城,陶洪斌,等.黑龙港流域玉米不同生育阶段气象因子对产量性状的影响[J].作物学报,2013,39(5): 919-927.
- Ming B,Zhu J C,Tao H B,et al.Effects of meteorological factors at different growth stages on yield traits of maize (*Zea mays* L.) in Heilonggang basin[J].Acta Agronomica Sinica,2013,39(5):919-927.(in Chinese)
- [35] 郭建茂,吴越,杨沈斌,等.典型高温年不同播期一季稻产量差异及其原因分析[J].中国农业气象,2017, 38(2): 121-130.
- Guo J M,Wu Y,Yang S B,et al.Yield differences and its causes for one season rice under different sowing dates in typical high temperature year[J].Chinese Journal of Agrometeorology,2017,38(2):121-130.(in Chinese)
- [36] 刘洪顺,李庆民.花生与气象[M].北京:气象出版社,1987:3-5.
- Liu H S,Li Q M.Peanuts and weather[M]. Beijing: Meteorological Press,1987:3-5.(in Chinese)
- [37] 信志红,郭建平,谭凯炎.典型高温年分期播种冬小麦生育及产量性状差异性分析[J].中国农业气象,2018,39(9): 601-610.
- Xin Z H,Guo J P,Tan K Y.Differences in growth and yield traits for winter wheat under different sowing dates in typical high temperature year[J].Chinese Journal of Agrometeorology,2018,39(9):601-610.(in Chinese)
- [38] 张悦,胡琦,和骅芸,等.气候变化背景下华北平原冬小麦冬前生育期与节气对应及偏移分析[J].中国农业气象,2019,40(7):411-421.
- Zhang Y,Hu Q,He H Y,et al.Correspondence and shifting analysis for the winter wheat growing period before winter and solar terms in the North China Plain under climate change background[J].Chinese Journal of Agrometeorology, 2019,40(7):411-421.(in Chinese)