

收敛式有效积温与马铃薯干物质变化相关性的研究

徐 宁, 张洪亮, 张荣华, 许亚坤

(黑龙江省农垦科学院经济作物研究所, 哈尔滨 150030)

摘 要:通过收敛式有效积温寻找马铃薯干物质转换规律和积累的关键时期,为马铃薯科学养分管理提供理论支持。本试验以延薯4号为试验材料,采取连续整株取样,分别烘干测定各器官(叶、茎、根、块茎)干物质含量,记录最高温和最低温并计算平均温度,分析干物质含量、干物质增长率与收敛式有效积温间的关系。干物质含量方面,叶和根最高值出现在收敛式有效积温 $883.89\text{ }^{\circ}\text{C}\cdot\text{d}$,茎和块茎分别出现在 $1\ 903.45$ 、 $1\ 791.15\text{ }^{\circ}\text{C}\cdot\text{d}$ 。高峰期干物质含量大小比较:根>块茎>茎>叶。收敛式有效积温与叶、茎、根干物质含量相关性较好,对应函数 R^2 值分别为:0.735 4、0.767 5和0.712 1。4种器官的干物质含量在收敛式有效积温达到 $1\ 672.42\text{ }^{\circ}\text{C}\cdot\text{d}$ 后均呈上升趋势,并在叶、茎、根内增长较快。当收敛式有效积温达到 $883.89\text{ }^{\circ}\text{C}\cdot\text{d}$ 时,叶片的干物质含量开始减少,向块茎转移。茎随着成熟、木质化和脱水,干物质含量一直增长。根干物质含量到达 $883.89\text{ }^{\circ}\text{C}\cdot\text{d}$ 后停止增长。收敛式有效积温 $1\ 378.9\text{ }^{\circ}\text{C}\cdot\text{d}$ 时块茎干物质含量开始增加。干物质含量增长率方面,叶的最高值出现在收敛式有效积温 $1\ 000\text{ }^{\circ}\text{C}\cdot\text{d}$,茎在 $640\sim 1\ 378\text{ }^{\circ}\text{C}\cdot\text{d}$,根和块茎分别在 757.31 、 $1\ 275.86\text{ }^{\circ}\text{C}\cdot\text{d}$ 。通过干物质变化可判定,延薯4号在收敛式有效积温达到 $883.89\text{ }^{\circ}\text{C}\cdot\text{d}$ 进入块茎增长期, $1\ 378.9\text{ }^{\circ}\text{C}\cdot\text{d}$ 时进入淀粉积累期, $1\ 672.42\text{ }^{\circ}\text{C}\cdot\text{d}$ 时进入成熟期。叶、茎和块茎的干物质增长最佳时期分别在 $1\ 029.44\sim 1\ 158.07$ 、 $640\sim 1\ 378.9$ 、 $1\ 275.86\text{ }^{\circ}\text{C}\cdot\text{d}$ 。根在 $757.31\text{ }^{\circ}\text{C}\cdot\text{d}$ 之前为干物质增长最佳时期。

关键词:马铃薯;收敛式有效积温;干物质含量;干物质增长率;相关性

中图分类号:S532

文献标识码:A

文章编号:2096-5877(2023)04-0067-06

Study on the Correlation between Convergent Effective Accumulated Temperature and Dry Matter Change of Potato

XU Ning, ZHANG Hongliang, ZHANG Ronghua, XU Yakun

(Institute of Economic Crops, Heilongjiang Academy of Agricultural Reclamation, Harbin 150030, China)

Abstract:The purpose of this study was to investigate the conversion law of dry matter and the critical period of accumulation in potato plants using the concept of convergent effective accumulated temperature, with the aim of providing theoretical support for scientific nutrient management in potatoes. In this experiment, Yanshu 4 was used as the experimental material. The whole plant was sampled continuously and dried to determine the dry matter content of each organ (leaf, stem, root and tuber). The highest and lowest temperatures were recorded, and the average temperature was calculated. The relationship between the dry matter content, dry matter growth rate and the convergent effective accumulated temperature was analyzed. The results showed that the highest dry matter content in leaves and roots occurred at a convergent effective accumulated temperature of $883.89\text{ }^{\circ}\text{C}\cdot\text{d}$, while the stem and tuber reached their highest dry matter content at temperatures of $1\ 903\text{ }^{\circ}\text{C}\cdot\text{d}$ and $1\ 791.15\text{ }^{\circ}\text{C}\cdot\text{d}$, respectively. The comparison of dry matter content in peak period indicated the following order: root > tuber > stem > leaf. The R^2 values of the corresponding functions were 0.735 4, 0.767 5 and 0.712 1, respectively. The dry matter content of the four organs increased after the convergent effective accumulated temperature reached $1\ 672.42\text{ }^{\circ}\text{C}\cdot\text{d}$, and increased rapidly in leaves, stems and roots. When the convergent effective accumulated temperature reached $883.89\text{ }^{\circ}\text{C}\cdot\text{d}$, the dry matter content of leaves began to decrease and turned to tuber. During the growth process of stem, the dry matter content increased with maturity, lignification and dehydration. The dry matter content of roots stopped growing after $883.89\text{ }^{\circ}\text{C}\cdot\text{d}$. The dry matter content of tuber began to increase at $1\ 378.9\text{ }^{\circ}\text{C}\cdot\text{d}$. In terms of the growth rate of dry matter

收稿日期:2020-06-05

基金项目:黑龙江省自然科学基金项目(LH2021C084);高标准农田建设和黑龙江垦区社会公益性事务专项(KJZX202204-06);公益性行业(农业)科研专项(201503001)

作者简介:徐 宁(1983-),男,副研究员,硕士,从事马铃薯栽培与育种研究。

content, the highest value of leaf appeared in convergent effective accumulated temperature of 1 000 °C·d, stem at 640–1 378 °C·d, root and tuber at 757.31 °C·d and 1 275.86 °C·d respectively. Yanshu 4 entered into tuber growth stage at 883.89 °C·d, starch accumulation at 1 378.9 °C·d and maturity at 1 672.42 °C·d. The best time for dry matter growth of leaf, stem and tuber was 1 029.44–1 158.07 °C·d, 640–1 378 °C·d and 1 275.86 °C·d respectively. The optimal period for dry matter growth in roots was before 757.31 °C·d.

Key words: Potato; Convergent effective accumulated temperature; Dry matter content; Dry matter growth rate; Correlation

温度是作物生长发育最重要的驱动因子,不仅直接作用于作物,还对光、水、土壤等的利用率产生影响^[1]。一般情况,温度、光照、降水等因子的数量变化被称为农作物的气候适宜度,通过数学函数转化为作物生长发育、产量的适宜程度^[2]。但由于多因素互作可变因子多,系统复杂,现阶段研究单因素影响的可行性和实用性更高。同温度相比,在水分营养充足、种植管理合理的前提下,其他环境因素的影响相对较小^[3],积温因素的重要性更加明显。研究以干物质变化为基础,用数学方程定量模拟马铃薯各器官干物质变化趋势,对干物质积累进行系统分析,实现对植株生长发育和品质的预测,用以指导大田生产^[4]。国内外研究以温度对马铃薯生长影响较多,积温方面的研究相对较少。马铃薯生长与温度相关度高,不同温度对于马铃薯生长的影响呈现类似高斯函数分布的规律,温度过低、过高都不利于生长。多数研究表明,决定马铃薯生长主要有3个温度参数,最低生长温度(T_b)取值在5~7 °C,最适宜生长温度(T_0)取值在18~20 °C,最高生长温度(T_m)取值在29~30 °C^[5-6]。积温可反映气候条件对马铃薯生长的综合影响,并且能分析马铃薯的热量条件,可用于确定相应的生理生长特征^[5-6]。有效积温(非收敛式)指作物某生育时期内日有效温度的总和^[7],采用非收敛性函数是现今最为普遍的有效积温计算方法,即排除低温对数据的影响,具体计算方法如下: $E_t = \sum (T_x - T_b)$ (E_t 代表有效积温, T_x 代表日平均温度, T_b 代表作物生长最低温度)。有效积温(非收敛式)和相应关键生物物理参数不会因地理位置差异而产生变化,所以通过了解马铃薯生长起始温度及有效积温值(非收敛式),基本可以预判作物物候期。然而,对马铃薯而言该计算方法存在明显缺陷,即温度越高有效积温值就越高。这显然与实际情况不符,马铃薯是喜冷凉作物,生长过程中并非温度越高越好。收敛式有效温度正好弥补了这一缺陷,可同时排除低温和高温的影响。具体计算方法如下:

$$E_T = \sum T_x \times \left[1 - \left(\frac{T_x - T_0}{T_0 - T_b} \right)^2 \right] \quad (T_x \leq T_0)$$

$$E_T = \sum T_x \times \left[1 - \left(\frac{T_x - T_0}{T_m - T_0} \right)^2 \right] \quad (T_x > T_0)$$

式中, E_T 为收敛式有效积温, T_x 为日平均温度, T_b 为生长最低温度, T_0 为生长最佳温度, T_m 为生长最高温度。本文采用收敛性函数计算马铃薯有效积温^[8],并把马铃薯生长的最低温度、最佳温度、最高温度设定为5、19、30 °C^[4,8]。

1 材料与方法

1.1 材料

供试品种,延薯4号由北大荒黑土薯业有限公司供种。试验地点位于东经126°58'16",北纬46°31'37"(黑龙江省农垦科学院经济作物研究所阿城试验基地),属寒温带大陆性季风气候,年日照24 421 h,年均活动积温2 946.00 °C·d,年降水量553.2 mm,无霜期162 d,土壤为暗棕壤。常规种植管理,垄宽65 cm,株距25 cm,垄长5 m,5垄区。

1.2 方法

苗出齐后,每隔7 d在不同小区顺序进行一次采样,采样20株。分别测定全株各器官干物质含量和记录每日最高温度和最低温度。

1.3 数据处理

采用Excel 2016进行数据整理及相关性分析,DPS 7.05进行显著性分析。

2 结果与分析

2.1 生育期积温随日期变化趋势

由图1可以看出,积温、非收敛式有效积温和收敛式有效积温的数值在前期波动性均较大,后期趋于稳定,表现出相近的变化趋势。收敛式有效积温和非收敛式有效积温与积温相比较,数值更集中在马铃薯适宜生长的温度区间(20 °C左右)^[9],说明其与马铃薯的实际生长情况较为一致,更符合马铃薯生理与环境的互动特征。

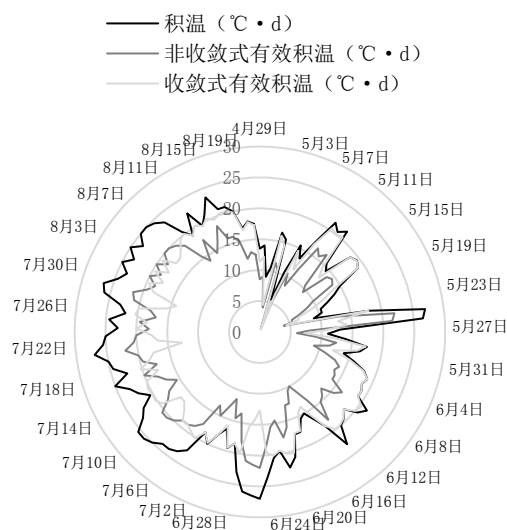


图1 积温随日期的变化趋势

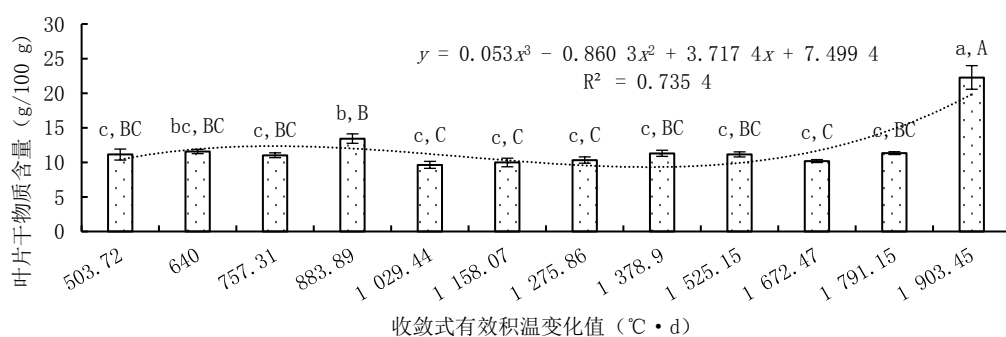


图2 不同收敛式有效积温条件下叶的干物质含量值及变化趋势

关,实际生育期内干物质含量的峰值应该在 883.89 °C·d(13.43 g/100 g)。

2.2.2 茎干物质含量随收敛式有效积温变化

由图3可知,收敛式有效积温值为1 903.45 °C·d时,茎的干物质含量最高(15.35 g/100 g),与其他处理间达差异极显著水平。收敛式有效积温与茎干物质含量变化成线性相关性,对应线性公式

2.2 不同器官干物质含量随收敛式有效积温变化

2.2.1 叶片干物质含量随收敛式有效积温变化

由图2可知,收敛式有效积温值在1 903.45 °C·d时,叶的干物质含量最高(22.27 g/100 g),该积温点与其他积温点间达到差异极显著水平。收敛式有效积温与叶片的干物质含量变化呈3次函数相关,对应函数公式为: $y=0.053x^3-0.8603x^2+3.7174x+7.4994$,其中 R^2 为0.7354,说明 y 变量(干物质含量)73.54%的变异由 x 变量(收敛式有效积温)变化来预测和解释。预测曲线变化可看出,叶片干物质含量先增加后减少,又快速增加。从变化趋势分析出,叶片从长出到成熟,干物质含量逐渐积累增高,当收敛式有效积温达到883.89 °C·d时开始减少,此时到达块茎长成期,叶片产生的干物质向块茎移动。在收敛式有效积温达到1 672.47 °C·d后,干物质含量开始迅速增加,与成熟后叶片脱水有

为: $y=0.6407x+5.2877$,其中 R^2 为0.7675,说明 y 变量(干物质含量)76.75%的变异由 x 变量(收敛式有效积温)的变化来预测和解释。由预测曲线可以看出,茎干物质含量呈线性平稳增加,无关键性变化点。从变化趋势分析出,茎在生长过程中,随逐步成熟、木质化和脱水,内部干物质含量一直处于积累增长的过程中。

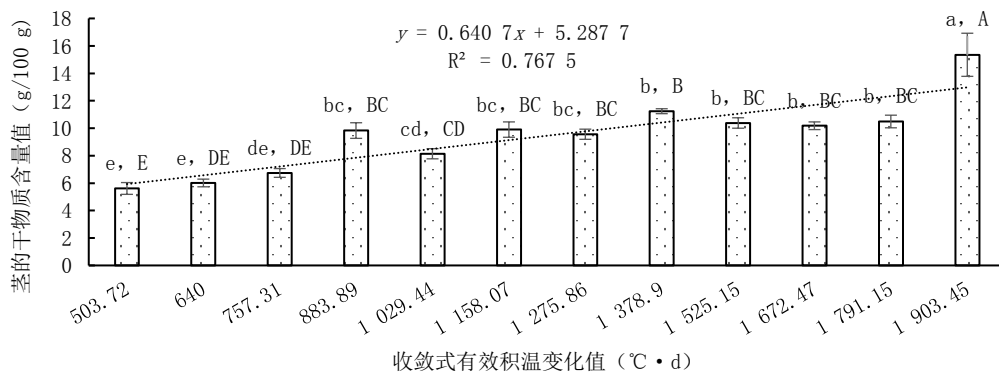


图3 不同收敛式有效积温条件下茎干物质含量值及变化趋势

2.2.3 根干物质含量随收敛式有效积温变化

由图4可知,收敛式有效积温值为1 903.45、883.89 °C·d时,根干物质含量最高(21.28 g/100 g, 20.31 g/100 g),并与其他积温点间达差异显著水平。收敛式有效积温与根的干物质含量变化呈3次函数相关,对应函数公式为: $y=0.052 6x^3-1.068 3x^2+6.718 4x+3.337 8$,其中 R^2 为0.712 1,说明 y 变量(干物质含量)71.21%的变异由 x 变量(收敛式有效

积温)的变化来预测和解释。预测曲线可看出,根干物质含量呈阶梯上升,收敛式有效积温在760 °C·d前缓慢上升,并在757.31~1 672.47 °C·d保持平稳,后较大幅度增加。根据变化趋势分析出,根干物质含量在前期增长到16 g/100 g后一直保持稳定,变化不大,直到积温达到1 672.47 °C·d后,根系脱水导致干物质含量增加。

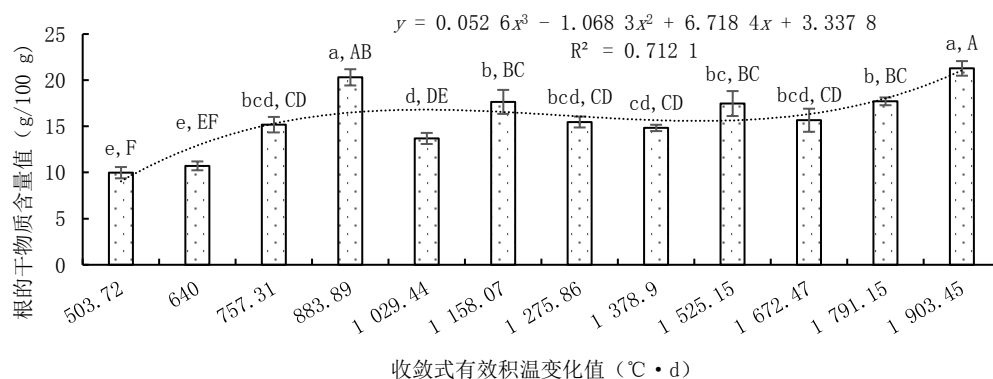


图4 不同收敛式有效积温条件下根干物质含量值及变化趋势

2.2.4 块茎干物质含量随收敛式有效积温变化

由图5可知,各个时期块茎干物质含量一直保持稳定,各积温点间差异不显著,最高值出现在1 791.15 °C·d(16.55 g/100 g)。收敛式有效积温与块茎干物质含量变化呈2次函数相关,对应函数公式为: $y=0.042 7x^2-0.327 3x+15.608$,其中 R^2 为0.327 4,说明 y 变量(干物质含量)32.74%的变异由

x 变量(收敛式有效积温)的变化来预测和解释。从预测曲线可看出,块茎干物质含量一直处于稳定状态,略呈现先降后长的趋势。根据变化趋势分析出,淀粉积累期前随着块茎的增长,干物质含量有下降的趋势,到达淀粉积累期(收敛式有效积温1 378.9 °C·d)后开始增加,但受2019年雨水大的影响,淀粉积累期块茎干物质含量增加不明显。

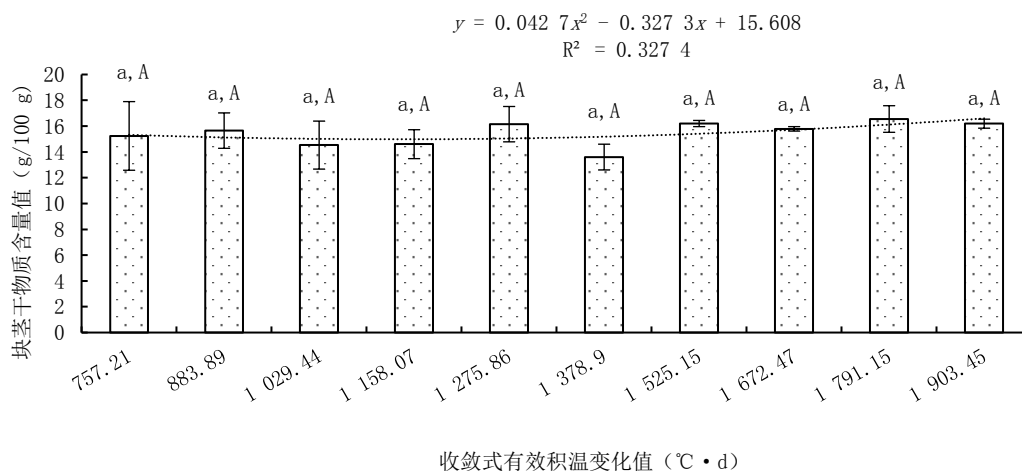


图5 不同收敛式有效积温条件下块茎干物含量值及变化趋势

2.3 不同器官干物质增长率随收敛式有效积温变化

单位收敛式有效积温条件下干物质增长率(以下称干物质增长率)是指在单位时间内干物质变化值与收敛式有效积温增加值的比值,用来

判断在该时期干物质增加的速率,从而判定干物质增加的关键时期。计算公式为: $S_T=(D_a-D_b)/(E_m-E_n)$ (D_a :原始干物质含量, D_b :变化后干物质含量, E_m :原始收敛式有效积温, E_n :变化后收敛式有效积温)。

2.3.1 叶片干物质增长率随收敛式有效积温变化

由图6可知,收敛式有效积温与叶片干物质增长率变化呈4次函数相关性,对应函数公式为: $y=4E-13x^4-2E-09x^3+3E-06x^2-0.001\ 9x+0.421\ 9$,其中 R^2 为0.765 6,说明 y 变量(干物质增长率)76.56%的变异由 x 变量(收敛式有效积温)的变化来预测和解释。预测曲线可看出,叶片干物质增

长率经历两落两起,后快速增加的变化。从变化趋势分析出,在收敛式有效积温达1 029.4 $^{\circ}\text{C}\cdot\text{d}$ 后叶片干物质增长率达到生长期峰值,为干物质增长的最佳时期。收敛式有效积温达到1 525.15 $^{\circ}\text{C}\cdot\text{d}$ 后,植株成熟,叶片逐步转黄脱水,导致干物质增长率增加,非正常生理性增长。

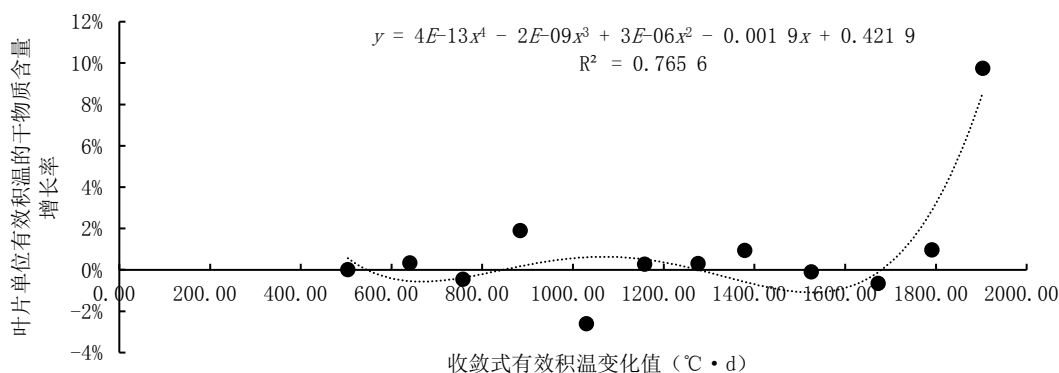


图6 叶片干物质增长率随收敛式有效积温长的变化

2.3.2 茎干物质增长率随收敛式有效积温变化

由图7可知,收敛式有效积温与茎的干物质增长率变化呈5次函数相关性,相应函数公式为: $y=5E-16x^5-3E-12x^4+6E-09x^3-6E-06x^2+0.003\ 2x-0.621\ 1$,其中 R^2 为0.602 7,说明 y 变量(干物质增长率)60.27%的变异可由 x 变量(收敛式有效积温)的变化来预测和解释。预测曲线可看出,茎干物质增长率呈增加、平稳、下降、快速增加4个变化阶段。从变化

趋势分析出,收敛式有效积温在640~1 525.15 $^{\circ}\text{C}\cdot\text{d}$ 时,茎干物质增长率达到峰值,为干物质增长的最佳时期。之后积累速度变慢并变为负增长,块茎淀粉积累期的到来使茎干物质开始流失。有效积温到达1 672.47 $^{\circ}\text{C}\cdot\text{d}$ 以后干物质增长率快速增长,是由于植株成熟后茎脱水导致的干物质增长率的增加,并非实际增加值。

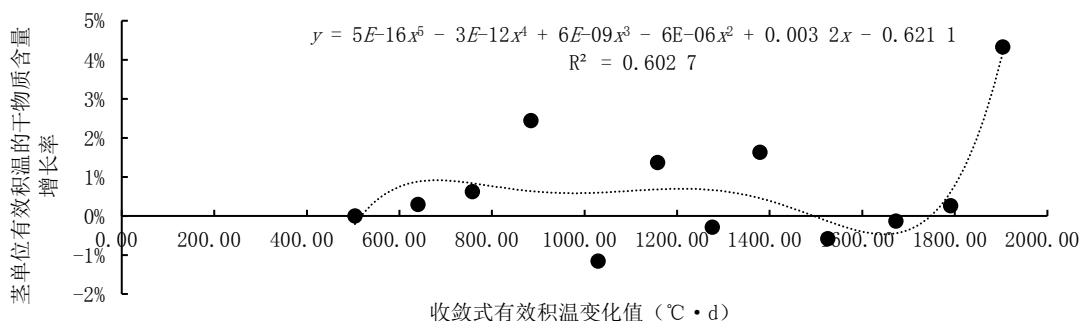


图7 茎干物质增长率随收敛式有效积温增长的变化

2.3.3 根干物质增长率随收敛式有效积温变化

由图8可知,收敛式有效积温与根干物质增长率变化呈4次函数相关性,对应线性公式为: $y=-2E-13x^4+1E-09x^3-2E-06x^2+0.001\ 6x-0.402\ 4$,其中 R^2 为0.228 4,说明 y 变量(干物质增长率)22.84%的变异由 x 变量(收敛式有效积温)的变化来预测和解释。预测曲线可看出,根干物质增长率呈现明显的增、减、增的变化趋势。从变化趋势分析

出,在收敛式有效积温达到757.31 $^{\circ}\text{C}\cdot\text{d}$ 前,根干物质含量增长率呈快速增加的趋势,并达到峰值,为干物质增长的最佳时期,之后增长率开始下降并呈负值,在有效积温达到1 500 $^{\circ}\text{C}\cdot\text{d}$ 后,增长率快速增长,为成熟后脱水导致干物质增长率的增加,并非实际增加值。

2.3.4 块茎干物质增长率随收敛式有效积温变化

由图9可知,收敛式有效积温与块茎干物质增

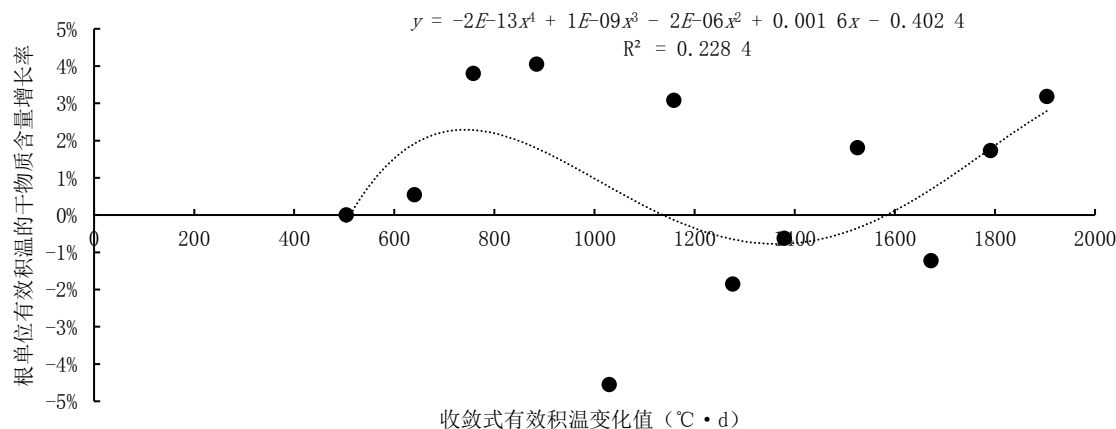


图8 根干物质增长率随收敛式有效积温增长的变化

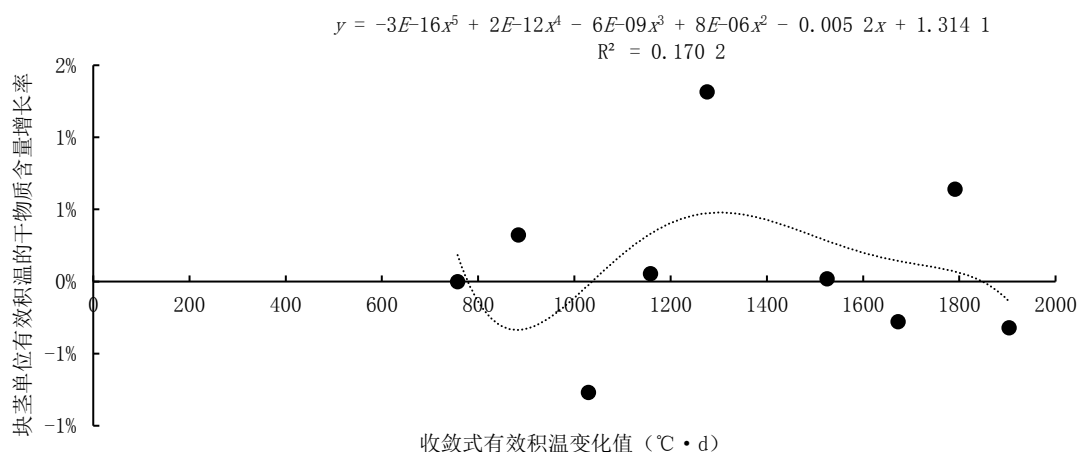


图9 块茎干物质增长率随收敛式有效积温变化

长率变化呈5次函数相关性,对应公式为: $y = -3E-16x^5 + 2E-12x^4 - 6E-09x^3 + 8E-06x^2 - 0.005 2x + 1.314 1$,其中 R^2 为 0.170 2,说明 y 变量(干物质增长率) 17.02%的变异由 x 变量(收敛式有效积温)的变化来预测和解释。预测曲线可看出,块茎干物质增长率呈先下降后上升,再缓慢下降的趋势。从变化趋势分析出,有效积温达到 883.89 $^{\circ}\text{C} \cdot \text{d}$ 前块茎干物质增长率呈下降趋势并呈现负增长,之后开始增加并在 1 275.86 $^{\circ}\text{C} \cdot \text{d}$ 时达顶峰,后开始缓慢下降,这与淀粉积累期干物质快速增长的观念不符,因后期雨水偏大影响了块茎干物质积累的速度。

3 讨论

3.1 从干物质含量及干物质增长率变化趋势来看,叶、茎、根均增长较快,这与2019年后期多雨,植株过早死亡有关,植株衰老死亡后,器官开始枯萎脱水,导致后期干物质含量增加较多,而块茎不受植株死亡脱水影响。

3.2 从试验数据看,预判块茎形成期在收敛式有效积温达 883.89 $^{\circ}\text{C} \cdot \text{d}$ 时到来,淀粉积累期在 1 378.9 $^{\circ}\text{C} \cdot \text{d}$,

成熟期在 1 672.47 $^{\circ}\text{C} \cdot \text{d}$ 。由于2019年哈尔滨市阿城区雨水较大,导致植株后期非正常死亡,分析出真实成熟期的指示收敛式有效积温可能会更高。

3.3 从试验数据可看出,后期植株衰老并向死亡过渡阶段对干物质含量变化影响较大,虽然数值上增长较快,但是不属于有效干物质积累。

3.4 本试验以单株作为处理,对稳定性影响较大,虽然设有20次重复,并通过正态分布剔除异常值,最后每个处理取15次重复进行处理,但数据稳定性仍然不好,后续试验时将采用3~5株作为一次重复,增加数据稳定性。

4 结论

4.1 收敛式有效积温值对干物质含量影响方面,叶、茎、根的相关性较好, R^2 值都达到0.7以上。块茎方面相关性较差, R^2 值为0.327 4。收敛式有效积温对干物质增长率影响方面,叶片和茎部相关性较好, R^2 值都达到0.6以上,具有较好的相关性。根和块茎的相关性较低, R^2 值为0.228 4和0.170 2。

(下转第138页)

奶牛养殖。首先,通过宣传教育增强奶牛养殖户的效率意识和效益意识,尤其是对散户和小规模养殖来说,学习奶牛养殖方面的知识,跟进奶业市场的最新信息可以让其认识到扩大规模能够从根本上提升养殖投入利用率,进而提高生产效率,增加养殖收入。而对于中规模和大规模养殖来说,投入资源利用充分则会出现相关费用的过度投入,因此要深化其“管理出效益”的认知程度,使奶牛养殖户充分认识到提高饲养管理水平的重要性。奶牛养殖应避免盲从和规模过度,尤其是对大规模养殖来说,养殖场在逐步扩大规模的过程中,总会出现一个生产效率最高的时期,继续扩大规模反而会造成一定的冗余,因此大规模养殖场应从市场、政策、补贴、资源、前景和资金等实际出发,确定具有明显优势的适度规模养殖,以避免出现奶牛养殖生产效率低下和资源浪费的现象。

参考文献:

- [1] 郭冬生,彭小兰,龚群辉,等.世界主要国家畜牧业概况与我国养殖业发展思考[J].吉林农业科学,2012,37(5):66-70,80.
- [2] 韩亚琼,王允,张立中.黑龙江省农业发展水平与生产效率协调性分析[J].东北农业科学,2020,45(2):101-105.
- [3] 方卫飞.奶牛养殖废弃物对环境的污染治理与开发[J].吉林农业科学,2005,30(4):48-50.
- [4] 李志强.我国奶业发展形势与未来目标分析[J].中国食物与营养,2009(3):4-7.
- [5] 赵佩佩.黑龙江省奶牛养殖业布局研究[D].哈尔滨:东北农业大学,2015.
- [6] 付红全.原料奶生产模式效率比较分析:以呼和浩特地区

为例[D].呼和浩特:内蒙古大学,2011.

- [7] 刘继为,李雪飞,高鹏怀,等.基于DEA模型的河北省农业生产效率及影响因素研究[J].东北农业科学,2020,45(3):86-91,107.
- [8] 白建华,杨文凤,央青卓嘎.基于数据包络分析的高原地区青稞种植效率评价-基于427户青稞种植户的入户调查[J].东北农业科学,2019,44(3):64-70.
- [9] 尚丽.基于DEA模型的陕西省粮食生产效率评价及影响因素研究[J].东北农业科学,2018,43(5):47-54.
- [10] 汪浩,刘鹏凌.基于DEA模型奶牛不同规模养殖生产效率分析-河南省与全国的比较[J].云南农业大学学报(社会科学),2018,12(2):36-43.
- [11] 辛国昌,张立中.不同规模奶牛养殖的成本和收益比较[J].财会月刊,2011(14):44-46.
- [12] 彭秀芬.中国原料奶的生产技术效率分析[J].农业技术经济,2008(6):23-29.
- [13] 郭策,马长海.河北省小规模奶牛养殖的成本效益分析[J].广东农业科学,2015,42(23):239-244.
- [14] 付雪,张凤娟,赵瑞莹.山东省不同肉羊养殖模式生产效率分析[J].山东农业科学,2020,52(3):162-167.
- [15] 王琛,何忠伟,高然,等.我国生猪生产技术效率分析-基于DEA模型的实证研究[J].农业展望,2012,8(2):42-45,50.
- [16] 何忠伟,韩啸,余洁,等.我国奶牛养殖户生产效率及影响因素分析-基于奶农微观层面[J].农业技术经济,2014(9):46-51.
- [17] 张园园,孙世民,季柯辛.基于DEA模型的不同饲养规模生猪生产效率分析:山东省与全国的比较[J].中国管理科学,2012,20(S2):720-725.
- [18] 李翠霞,谭留兵.奶牛养殖规模效益分析-以黑龙江省为例[J].中国农学通报,2013,29(14):1-6.
- [19] 许鹤,顾莉丽,刘明.江苏省生猪养殖规模效益分析[J].东北农业科学,2020,45(1):104-108.

(责任编辑:王昱)

(上接第72页)

4.2 各器官干物质含量在收敛式有效积温达到1 672.42 °C·d后均呈上升趋势,其中在叶、茎、根的增长较快,说明到达此积温时植株开始整体脱水,标志成熟期的到来。当收敛式有效积温达到883.89 °C·d时,叶片干物质含量开始减少,向块茎转移,此积温时期为块茎长成期。到达淀粉积累期前,块茎干物质含量有下降的趋势,淀粉积累期时(收敛式有效积温1 378.9 °C·d)开始增加。

参考文献:

- [1] 闫伟平,赵洪祥,张丽华,等.半干旱区温度变化对不同密度玉米植株光合作用的影响[J].吉林农业科学,2015,40(5):14-20.

- [2] 邱美娟,王冬妮,王美玉,等.近35年吉林省玉米气候适宜度及其变化[J].东北农业科学,2019,44(1):70-78.
- [3] Major D R, Kiniry J R. Predicting day length effects on phenological processes [M]. Boca Raton: CRC Press, 1991: 15-28.
- [4] 周岑岑.马铃薯生育期及形态建成的模拟研究[D].武汉:华中农业大学,2015.
- [5] Jefferies R A, 赵奇.依据积温和土壤含水量估算马铃薯块茎干物质浓度[J].国外农学-杂粮作物,1990(6):19-23.
- [6] 王全九,蔺树栋,苏李君.马铃薯主要生长指标对有效积温响应的定量分析[J].农业机械学报,2020,51(3):306-316.
- [7] 王贺,白由路,杨俐苹,等.利用有效积温建立夏玉米追肥时期决策模型[J].中国生态农业学报,2012,20(4):408-413.
- [8] 何英彬.马铃薯表观特征及空间分布信息提取与分析[M].北京:中国农业科学技术出版社,2018:7-8.

(责任编辑:王昱)