

紫花苜蓿物候期与热量条件的关系

史纪安^{1,2}, 刘玉华^{1,2}, 韩清芳², 贾志宽²

(1 河南科技大学 农学院, 河南 洛阳 471003; 2 西北农林科技大学干旱半干旱研究中心, 陕西 杨凌 712100)

【摘要】【目的】研究紫花苜蓿物候期与气象条件的关系, 为紫花苜蓿的高产栽培和育种提供参考。【方法】采用有效积温法探讨了紫花苜蓿各生育阶段的下限温度, 利用各生育阶段和各茬次的热量指标分析了 7 个不同休眠性紫花苜蓿品种物候期热量条件的变化规律。【结果】(1) 休眠性苜蓿品种巨人 201 返青晚、开花晚、对温度要求较高; 非休眠性品种超级 13R 返青早、开花早、对温度要求较低; 半休眠性品种路宝、美国杂交熊、牧歌 104 和超级阿波罗居中。(2) 紫花苜蓿从返青到分枝、从分枝到现蕾、从现蕾到开花、从开花到结荚的温度下限分别为 (5.68 ± 0.61) , (13.95 ± 1.78) , (17.37 ± 2.99) 和 $(21.83 \pm 0.95)^\circ\text{C}$ 。(3) 2004 年紫花苜蓿一年刈割了 4 茬, 前 3 茬在开花期刈割, 第 4 茬在分枝末期刈割。全年刈草 $\geq 5^\circ\text{C}$ 总有效积温为 $4\,570.91 (\text{d} \cdot ^\circ\text{C})$, 间隔时间 236.57 d。其中, 第 1 茬苜蓿从返青到刈草 $\geq 5^\circ\text{C}$ 的有效积温平均为 $1\,036.21 (\text{d} \cdot ^\circ\text{C})$, 间隔时间为 75.57 d; 第 2 茬苜蓿需 $\geq 5^\circ\text{C}$ 的有效积温平均为 $1\,163.80 (\text{d} \cdot ^\circ\text{C})$, 间隔时间为 50 d; 第 3 茬苜蓿需 $\geq 5^\circ\text{C}$ 的有效积温平均为 $1\,515.50 (\text{d} \cdot ^\circ\text{C})$, 间隔时间为 61 d; 第 4 茬苜蓿需 $\geq 5^\circ\text{C}$ 的有效积温平均为 $855.40 (\text{d} \cdot ^\circ\text{C})$, 间隔时间为 50 d。【结论】气温和紫花苜蓿的物候期关系密切, 只有气温 $\geq$ 紫花苜蓿某一发育阶段要求的温度下限值, 并且有完成该生育阶段所要求的 $\geq 5^\circ\text{C}$ 有效积温时, 紫花苜蓿才能够顺利地该生长阶段的发育过程而进入下一生育阶段。

【关键词】 紫花苜蓿; 物候期; 热量条件

【中图分类号】 S551⁺.7

【文献标识码】 A

【文章编号】 1671-9387(2009)06-0039-08

Relationship between phonological phase and thermal conditions for alfalfa

SHI Ji-an^{1,2}, LIU Yu-hua^{1,2}, HAN Qing-fang², JIA Zhi-kuan²

(1 College of Agronomy, Henan University of Science and Technology, Luoyang, He'nan 471003, China;

2 College of Agronomy, Northwest A&F University, YangLing, Shaanxi 712100, China)

Abstract: 【Objective】Relationship between phonological phase and thermal conditions of alfalfa was exposed to offer reference for high-yielding cultivation and breeding practices of alfalfa. 【Method】Lower limit temperature of different growth phases in alfalfa was discussed by effective accumulated temperature method, also, change rule of thermal condition of different phonological phases for seven alfalfa varieties was analyzed by thermal index in different growth phases and different cuttings. 【Result】(1) Fall dormancy cultivar, Ameristand201 revived and flowered late, required high average temperature. Semi-fall dormancy cultivar such as Lobo, Meiguozejiao, Amerigraze401 and Apollo supreme were second. Non-fall dormancy cultivar 13R supreme revived and flowered early, required low average temperature. (2) For alfalfa, from reviving to branching period, branching to budding period, budding to efflorescence period, and efflorescence to pudding period, lower limit temperature was respectively (5.68 ± 0.61) , (13.95 ± 1.78) , (17.37 ± 2.99) , $(21.83 \pm 0.95)^\circ\text{C}$. (3) Alfalfa was harvested three times a year in efflorescence period, and the fourth

* [收稿日期] 2008-06-02

[基金项目] 河南科技大学博士科研启动基金(09001159); 农业部“948”项目“高产优质抗逆苜蓿新品种的引进及繁育”(2001-372)

[作者简介] 史纪安(1976—), 男, 河南洛阳人, 讲师, 博士, 主要从事农业生态与景观生态研究。E-mail: lysia@126.com

[通信作者] 贾志宽(1962—), 男, 山西朔州人, 教授, 博士生导师, 主要从事旱区农业生态研究。

cutting was harvested in branching later period in 2004. Interval days and effective accumulated temperature above 5 ℃ were respectively 236.57 days and 4 570.9 1(d · ℃) from reviving period to the last cutting in a year,75.57 days and 1 036.21 (d · ℃) for the first growth season,50 days and 1 163.80 (d · ℃) for the second growth season,61 days and 1 515.50 (d · ℃) for the third growth season,50 days and 855.40(d · ℃) for the forth growth season.【Conclusion】 Temperature and phonological phase were closely related. Alfalfa can not accomplish some growth stage and enter the next one,until temperature is up to the lowest limitation with accumulated temperature for some growth stage.

Key words: alfalfa;phonological phase;thermal condition

物候期是苜蓿系统发育过程中形成的遗传特性与外界环境条件共同作用的结果,反映了一年中苜蓿生长发育的规律性变化。在影响苜蓿物候期的外界环境条件中,以气象条件影响较大,其中温度的影响最大^[1]。有关物候期和热量条件的研究,对于预测紫花苜蓿生长及指导适时田间管理具有重要意义。

有效积温更能反映作物生育期间对热量的要求,不同品种作物需要的有效积温不同,同一品种作物只要地理位置和其他外界条件变化不大,其对有效积温的要求通常基本相同。有效积温不仅可以衡量作物对热量条件的要求、评价某个地区的热量资源、制定农业气候区划,而且在作物生产中也广泛应用^[2]。目前,关于紫花苜蓿物候期与热量条件的研究,多限于单一品种或简单的定性分析。彭玉梅等^[3]研究了紫花苜蓿第一茬各生长发育阶段的积温;杨文义^[4]和颜亮东^[5]分别研究了紫花苜蓿返青的温度条件;畜牧气候区划科研协作组^[6]和郎炳耀^[7]研究了前苏联南部各茬次及各生育阶段紫花苜蓿生长对温度的需求。在研究方法上,长期以来人们常用积温法来预测作物的生育期进程或完成生育期的热量要求,这种方法由 Reaumur 于 1735 年提出^[8],并在 MACROS 和 CERES 等模型^[9-10]中应用,该方法应用方便,预测性强。白文明等^[11]借鉴有效积温学原理,将紫花苜蓿一生划分为营养生长阶段、生殖生长阶段和果后营养生长阶段,并成功地建立了各发育阶段的数学模型。后来,许多学者又

提出了温度非线性模型^[12-14],如水稻“钟模型”^[10],但这些模型由于参数过多,导致精度降低,增加了应用难度。为了较全面地揭示苜蓿物候期与热量条件的关系,本试验采用有效积温法,研究了 7 个不同秋眠性紫花苜蓿品种不同生育期的热量条件,以期为紫花苜蓿的高产栽培管理和育种提供参考依据。

1 材料与方法

1.1 试验地概况

试验地位于陕西杨凌西北农林科技大学农作一站,前茬为小麦。该站位于秦岭北麓、渭河平原西部的第一道塬上,地理位置北纬 34°21′、东经 108°10′、海拔 454.8 m。该区属于暖温带半湿润季风气候区,年均日照时数 2 150 h;年平均气温 12~14 ℃,年极端最高气温 39~40 ℃,极端最低气温-15~-21 ℃;全年无霜期 221 d;年均蒸发量 993 mm,年均降雨量 621.6 mm,年内降雨分配不匀,春季降水偏少、干旱,60%以上的降雨集中在 7~9 月份,年际变化大,丰枯比为 3.0,变异系数为 0.25。试验地土壤为黑垆土,土层深厚、通气良好,有机质含量为 15.9 g/kg,全氮含量为 0.55 g/kg,田间土壤持水量为 21.12%,地下水埋深约 80 m。

1.2 供试紫花苜蓿品种

参试的 7 个紫花苜蓿品种的名称、秋眠级数和来源见表 1。

表 1 供试紫花苜蓿品种的名称、秋眠级数和来源

Table 1 Name,fall dormancy grade and origin of alfalfa varieties

品 种 Name of Variety	秋眠级数 Fall dormancy grade	品种来源 Origin
巨人 201 Ameristand201	2(秋眠品种 Fall dormancy variety)	美国 America
路宝 Lobo	5(半秋眠品种 Semi- fall dormancy variety)	美国 America
牧歌 401 Amerigraze401	4(半秋眠品种 Semi- fall dormancy variety)	美国 America
超级阿波罗 Apollo supreme	4(半秋眠品种 Semi- fall dormancy variety)	美国 America
超级 13R 13Rsupreme	8(非秋眠品种 Non- fall dormancy variety)	美国 America
美国杂交熊 Meiguozajiao	4(半秋眠品种 Semi- fall dormancy variety)	宁夏 NingXia
新疆大叶 Xinjiang big leaf	3(秋眠品种 Fall dormancy variety)	新疆 XinJiang

1.3 试验设计

试验采用随机区组设计,小区面积 2.0 m×9.0 m,每小区 5 行,行距 30 cm,每品种 5 个重复。供试紫花苜蓿品种均在 2001-05-04~06 播种,播前灌溉、整地耙平,播量为 15 kg/hm²,拌沙后人工条播,播深 2 cm。苜蓿于 2001-05-19 出苗,整个生育期实行旱作管理。自种植第 2 年起,每年分别在 5 月中旬、7 月初和 9 月中旬初花期刈割 3 次。2004 年刈割 4 次,前 3 茬分别在 5 月上旬、7 月初、8 月下旬初花期刈割,第 4 茬在分枝末期刈割。

1.4 测定项目与方法

各指标观测时间均为 2002~2005 年。紫花苜蓿返青期、分枝期、现蕾期、开花期和结荚期的观测参考《苜蓿生产与管理指南》^[15]进行,鉴别标准为:50%的植株达到某一生育阶段即判为到达该生育期;10%~20%植株到达判为初期;80%植株到达判

为盛期。

试验用气象资料由陕西杨凌西北农林科技大学灌溉站提供,该站与农作一站毗邻。

2 结果与分析

2.1 不同紫花苜蓿品种各生育阶段的热量指标

从生育期观测结果(表 2)来看,不同紫花苜蓿品种返青期差异明显,返青后各生育进程差异缩小;非秋眠性紫花苜蓿品种超级 13R 返青最早,秋眠性品种巨人 201 返青最晚,前后相差 13 d;返青后各紫花苜蓿品种到达某一生育阶段的进程早晚相差仅为 3~5 d,秋眠性品种新疆大叶和巨人 201 到达各个生育阶段的时间最晚,而非秋眠性品种(超级 13R)和半秋眠性品种(路宝、美国杂交熊,牧歌 104 和超级阿波罗)到达各个生育阶段的时间相近。

表 2 2004 年不同紫花苜蓿品种第 1 茬生育阶段的时间
Table 2 Development stages of different alfalfa varieties for the first cutting in 2004

紫花苜蓿品种 Variety of alfalfa	返青期 Reviving period	分枝期 Branching period	现蕾期 Budding period	开花期 Flowing period	结荚期 Podding period
新疆大叶 Xinjiang big leaf	03-01	03-30	04-26	05-10	05-24
巨人 201 Ameristand201	03-01	03-31	04-26	05-10	05-23
路宝 Lobo	02-26	03-28	04-23	05-07	05-20
牧歌 401 Amerigraze401	02-28	03-29	04-24	05-08	05-20
超级阿波罗 Apollo supreme	02-28	03-29	04-24	05-09	05-22
美国杂交熊 Meiguozajiao	02-25	03-29	04-23	05-08	05-20
超级 13R 13Rsupreme	02-18	03-27	04-25	05-07	05-20

由表 3 可以看出,紫花苜蓿从返青到结荚日平均温度为 16.14 ℃,其中返青到分枝阶段日平均温度较低,为 9.66 ℃;分枝到现蕾阶段,气温回升,日平均温度为 16.09 ℃;现蕾到开花阶段,日平均温度为 17.62 ℃;开花到结荚阶段正值春末夏初,升温明显,日平均温度达到 21.18 ℃,是全生育期温度最高的时期。可见,分枝以后日平均温度高于 16 ℃,是热量条件较好的时期,也是紫花苜蓿生长最旺盛的时期。不同秋眠性的紫花苜蓿品种,在各生育阶段要求的日平均温度变化规律基本一致,即秋眠性品种对日平均温度的要求最高,其次是半秋眠性品种,非秋眠性品种对日平均温度的要求最低。

由表 3 还可以看出,紫花苜蓿从返青到结荚所需时间为 84.86 d,≥5 ℃有效积温为 1 230.60 (d·℃);各个生育期所需的≥5 ℃有效积温不同,从现蕾到开花所需≥5 ℃有效积温最小,为 246.64 (d·℃),分枝到现蕾所需≥5 ℃有效积温最大,为

425.26 (d·℃);就不同秋眠性品种而言,非秋眠性品种超级 13R 从返青到结荚所需的时间为 92 d、≥5 ℃有效积温为 1 262.5 (d·℃),而其他品种从返青到结荚所需时间为 83~85 d、≥5 ℃有效积温为 1 189.6~1 262.5 (d·℃)。这主要是由于返青到分枝阶段,各品种所经历的时间和≥5 ℃有效积温差异较大所致。从返青到分枝,非秋眠性品种超级 13R 所经历的时间和≥5 ℃有效积温均大于其他品种;此后的生育阶段各品种所经历的时间和≥5 ℃有效积温差异较小。

综合以上结果可知,不同紫花苜蓿品种的生育期与其秋眠性密切相关,非秋眠性紫花苜蓿品种返青早,开花早;秋眠性苜蓿品种返青晚,开花晚。但这并不能说明非秋眠性紫花苜蓿品种完成整个生育期所经历的时间短、所需的≥5 ℃有效积温低,而秋眠性品种完成整个生育期所经历的时间长、所需≥5 ℃有效积温高。

表 3 2004 年不同紫花苜蓿品种第 1 茬各生育阶段热量条件的变化

Table 3 Change of thermal conditions for development stages of alfalfa varieties for the first cutting in 2004

品 种 Variety	返青期—分枝期 Reviving to Branching period			分枝期—现蕾期 Branching to Budding period			现蕾期—开花期 Budding to Flowering period		
	间隔 时间/d Interval days	≥5 ℃有效 积温/(d·℃) Accumulated temperature above 5 ℃	日均 温度/℃ Average temperature	间隔 时间/d Interval days	≥5 ℃有效 积温/(d·℃) Accumulated temperature above 5 ℃	日均 温度/℃ Average temperature	间隔 时间/d Interval days	≥5 ℃有效 积温/(d·℃) Accumulated temperature above 5 ℃	日均 温度/℃ Average temperature
新疆大叶 Xinjiangbigleaf	29.00	270.90	9.96	27.00	438.90	16.26	14.00	255.30	18.24
巨人 201 Ameristand201	30.00	281.60	9.98	26.00	428.20	16.47	14.00	255.30	18.24
路宝 Lobo	31.00	277.90	9.52	26.00	417.10	16.04	14.00	238.10	17.01
牧歌 401 Amerigraze401	30.00	275.80	9.79	26.00	416.30	16.01	14.00	243.90	17.42
超级阿波罗 Apollo supreme	30.00	275.80	9.79	26.00	416.30	16.01	15.00	265.70	17.71
美国杂交熊 Meiguoazajiao	33.00	301.60	9.68	25.00	401.90	16.08	15.00	258.30	17.22
超级 13R 13Rsupreme	38.00	320.70	8.91	29.00	458.10	15.80	12.00	209.90	17.49
平均 Average	31.57	286.33	9.66	26.43	425.26	16.09	14.00	246.64	17.62

品 种 Variety	开花期—结荚期 Flowering to Podding period			返青期—结荚期 Reviving to Podding period		
	间隔时间/d Interval days	≥5 ℃有效积温/ (d·℃) Accumulated temperature above 5 ℃	日均温度/℃ Average temperature	间隔时间/d Interval days	≥5 ℃有效积温/ (d·℃) Accumulated temperature above 5 ℃	日均温度/℃ Average temperature
新疆大叶 Xinjiangbigleaf	14.00	297.20	21.23	84.00	1 262.30	16.42
巨人 201 Ameristand201	13.00	276.80	21.29	83.00	1 241.90	16.49
路宝 Lobo	13.00	273.80	21.06	84.00	1 206.90	15.91
牧歌 401 Amerigraze401	12.00	253.60	21.13	82.00	1 189.60	16.09
超级阿波罗 Apollo supreme	13.00	277.80	21.37	84.00	1 235.60	16.22
美国杂交熊 Meiguoazajiao	12.00	253.60	21.13	85.00	1 215.40	16.03
超级 13R 13Rsupreme	13.00	273.80	21.06	92.00	1 262.50	15.81
平均 Average	12.86	272.37	21.18	84.86	1 230.60	16.14

2.2 不同紫花苜蓿品种各生育阶段时长与热量条件的关系

从返青期至结荚期,紫花苜蓿各生育阶段时长与当地气候条件关系密切。利用多元回归统计方法探讨紫花苜蓿各生育阶段时长(Y)与其日平均温度(T)、≥5 ℃有效积温(∑T)等气象因子的关系。

2.2.1 返青期到分枝期 结果表明,返青期至分枝期的时长(Y)与日平均温度(T)呈极显著负相关,说明温度升高对紫花苜蓿分枝有明显的促进作用,温度高该生育阶段缩短,分枝提前,反之该生育期延长,分枝推迟。此阶段 Y 与 T 的关系为

$$Y=-8.72\ T+115.44\ \ n=7\ R=0.936^{**}$$
$$R^2=0.875。$$

返青期至分枝期的时长(Y)与≥5 ℃有效积温(∑T)呈极显著正相关。紫花苜蓿返青期的温度下限为(5.68±0.61)℃。根据有效积温理论,返青后 Y 天日平均温度高于(5.68±0.61)℃的有效积温达(107.02±19.22)(d·℃)时,紫花苜蓿普遍分

枝。此阶段 Y 与 ∑T 的关系为:

$$\sum T=5.68\ Y+107.02\ \ n=7\ R=0.973^{**}$$
$$R^2=0.946。$$

2.2.2 分枝期到现蕾期 结果表明,分枝期至现蕾期的时长(Y)与≥5 ℃有效积温(∑T)呈极显著正相关。分枝期的温度下限为(13.95±1.78)℃。即分枝 Y 天后日平均温度≥(13.95±1.78)℃的有效积温达(56.64±47.29)(d·℃)时,紫花苜蓿普遍现蕾。此阶段 Y 与 ∑T 的关系为:

$$\sum T=13.95\ Y+56.64\ \ n=7\ R=0.961\ 3^{**}$$
$$R^2=0.924\ 1。$$

2.2.3 现蕾期到开花期 结果表明,紫花苜蓿现蕾期到开花期时长(Y)与≥5 ℃有效积温(∑T)呈极显著正相关。现蕾期温度下限为(17.37±2.99)℃。现蕾后 Y 天日平均温度≥该温度的有效积温达(3.51±42.08)(d·℃)时,紫花苜蓿普遍开花。此阶段 Y 与 ∑T 的关系为:∑T=17.37 Y+3.51 n=7 R=0.932 9** R²=0.870 2。

2.2.4 开花期到结荚期 结果表明,开花期到结荚期的时长(Y)与 $\geq 5\text{ }^{\circ}\text{C}$ 有效积温(ΣT)呈极显著正相关。开花期温度下限为 $(21.83\pm 0.95)\text{ }^{\circ}\text{C}$,现蕾后Y天日平均温度 $\geq$ 该温度的有效积温累计达 $(8.3\pm 12.18)(\text{d}\cdot^{\circ}\text{C})$ 时,紫花苜蓿普遍结荚。此阶段Y与 ΣT 的关系为:

$$\Sigma T=21.83 Y-8.3 \quad n=7 \quad R=0.9953^{**}$$

$R^2=0.9907$ 。

为了验证各生育阶段的界限温度,根据上述各生育阶段时长与 $\geq 5\text{ }^{\circ}\text{C}$ 有效积温的回归数学模型,对不同品种苜蓿各生育阶段 $\geq 5\text{ }^{\circ}\text{C}$ 有效积温分别进行拟合,将拟合值与观测值进行比较,结果见表4。由表4可知,拟合值与观测值相对误差较小,均在 $0.03\sim 0.0002$,表明拟合值与观测值基本符合。

表4 不同紫花苜蓿品种各生育阶段 $\geq 5\text{ }^{\circ}\text{C}$ 有效积温模型拟合值与观测值的比较

Table 4 Test of regress equation between growth stages and effective accumulated temperature above $5\text{ }^{\circ}\text{C}$

品 种 Variety	返青期—分枝期 Reviving period-Branching period				分枝期—现蕾期 Branching period-Budding period			
	观测值/ ($\text{d}\cdot^{\circ}\text{C}$) Observed value	拟合值/ ($\text{d}\cdot^{\circ}\text{C}$) Fitting value	绝对误差/ ($\text{d}\cdot^{\circ}\text{C}$) Absolute error	相对误差 Relative error	观测值/ ($\text{d}\cdot^{\circ}\text{C}$) Observed value	拟合值/ ($\text{d}\cdot^{\circ}\text{C}$) Fitting value	绝对误差/ ($\text{d}\cdot^{\circ}\text{C}$) Absolute error	相对误差 Relative error
	Observed value	Fitting value	Absolute error	Relative error	Observed value	Fitting value	Absolute error	Relative error
新疆大叶 Xinjiang bigleaf	270.9	271.72	0.824 3	0.003 0	438.9	433.23	5.670 6	0.012 9
巨人 201 Ameristand201	281.6	277.40	4.196 3	0.014 9	428.2	419.28	8.922 1	0.020 8
路宝 Lobo	277.9	283.08	5.183 2	0.018 7	417.1	419.28	2.177 9	0.005 2
牧歌 401 Amerigraze401	275.8	277.40	1.603 7	0.005 8	416.3	419.28	2.977 9	0.007 2
超级阿波罗 Apollo supreme	275.8	277.40	1.603 7	0.005 8	416.3	419.28	2.977 9	0.007 2
美国杂交熊 Meiguoazajiao	301.6	294.44	7.157 9	0.023 7	401.9	405.33	3.426 5	0.008 5
超级 13R 13Rsupreme	320.7	322.84	2.139 4	0.006 7	458.1	461.13	3.032 4	0.006 6

品 种 Variety	现蕾期—开花期 Budding period-Flowering period				开花期—结荚期 Flowering period-Podding period			
	观测值/ ($\text{d}\cdot^{\circ}\text{C}$) Observed value	拟合值/ ($\text{d}\cdot^{\circ}\text{C}$) Fitting value	绝对误差/ ($\text{d}\cdot^{\circ}\text{C}$) Absolute error	相对误差 Relative error	观测值/ ($\text{d}\cdot^{\circ}\text{C}$) Observed value	拟合值/ ($\text{d}\cdot^{\circ}\text{C}$) Fitting value	绝对误差/ ($\text{d}\cdot^{\circ}\text{C}$) Absolute error	相对误差 Relative error
	Observed value	Fitting value	Absolute error	Relative error	Observed value	Fitting value	Absolute error	Relative error
新疆大叶 Xinjiang bigleaf	255.3	246.64	8.657 1	0.033 9	297.2	297.32	0.12	0.000 4
巨人 201 Ameristand201	255.3	246.64	8.657 1	0.033 9	276.8	275.49	1.31	0.004 7
路宝 Lobo	238.1	246.64	8.542 9	0.035 9	273.8	275.49	1.69	0.006 2
牧歌 401 Amerigraze401	243.9	246.64	2.742 9	0.011 2	253.6	253.66	0.06	0.000 2
超级阿波罗 Apollo supreme	265.7	264.01	1.690 5	0.006 4	277.8	275.49	2.31	0.008 3
美国杂交熊 Meiguoazajiao	258.3	264.01	5.709 5	0.022 1	253.6	253.66	0.06	0.000 2
超级 13R 13Rsupreme	209.9	211.91	2.009 5	0.009 6	273.8	275.49	1.69	0.006 2

2.3 紫花苜蓿刈草茬次的热量指标

由表5可知,紫花苜蓿在陕西杨凌地区1年刈割了4茬,第4茬在分枝末期。全年刈草 $\geq 5\text{ }^{\circ}\text{C}$ 总有效积温为 $4\,570.91(\text{d}\cdot^{\circ}\text{C})$,间隔时间为 236.57 d 。

第1茬苜蓿需 $\geq 5\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的有效积温平均为 $1\,036.21(\text{d}\cdot^{\circ}\text{C})$,间隔时间 75.57 d ;第2茬苜蓿需 $\geq 5\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的有效积温平均为 $1\,163.80(\text{d}\cdot^{\circ}\text{C})$,间隔时间 50 d ;第3茬苜蓿需 $\geq 5\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的有效积温平均为 $1\,515.50(\text{d}\cdot^{\circ}\text{C})$,间隔时间 61 d ;第4茬苜蓿需 $\geq 5\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的有效积温平均为 $855.40(\text{d}\cdot^{\circ}\text{C})$,间隔时间 50 d 。总体来看,第1茬草所需 $\geq 5\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的有效积温低于第2和第3茬草,这主要是因为第1茬草生育期处于春季,温度较低,日平均气温在 $7\sim 18\text{ }^{\circ}\text{C}$,适宜于营养器官的发育,故生育期较长,热量指标相应略低;而第2和第3茬草生育期处于夏季,温度较高,

日平均气温在 $20\sim 30\text{ }^{\circ}\text{C}$,对苜蓿生长不是很适宜,故生育期缩短,热量指标略高,产草量下降。第4茬草生育期处于秋季,温度呈下降趋势,日平均气温在 $9\sim 21\text{ }^{\circ}\text{C}$,因此,紫花苜蓿现蕾需要的最低温度不够,不能现蕾。

不同茬次中,紫花苜蓿从返青到开花所需的时间与 $\geq 5\text{ }^{\circ}\text{C}$ 有效积温存在差异。第1茬草中,非秋眠性紫花苜蓿品种超级13R所需时间较长, $\geq 5\text{ }^{\circ}\text{C}$ 有效积温略高;半秋眠性品种路宝、超级阿波罗、牧歌401和美国杂交熊所需 $\geq 5\text{ }^{\circ}\text{C}$ 有效积温较低;秋眠性品种新疆大叶和巨人201所需 $\geq 5\text{ }^{\circ}\text{C}$ 有效积温介于上述两者之间;再生草中,所需时间最短、 $\geq 5\text{ }^{\circ}\text{C}$ 有效积温最低的品种是非秋眠性品种超级13R;所需时间最长、 $\geq 5\text{ }^{\circ}\text{C}$ 有效积温最高的品种是秋眠性品种;半秋眠性品种介于上述两者之间,这主要与紫花苜蓿品种的秋眠性有关。

表 5 4 年生不同紫花苜蓿品种各茬次 $\geq 5\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的有效积温
Table 5 Effective accumulated temperature of $\geq 5\text{ }^{\circ}\text{C}$ for different harvesting season of alfalfa varieties

1 茬刈草 The first cutting								
品 种 Variety	刈草时间 Date of the first cutting	返青—开花 Reviving to flowering period		开花—第 1 次刈草 Flowering to the first cutting		返青—第 1 次刈草 Reviving to the first cutting		
		间隔时间 /d Interval days	≥5 ℃有效 积温/(d·℃) Accumulated tem- perature above 5 ℃	间隔时间 /d Interval days	≥5 ℃有效 积温/(d·℃) Accumulated tem- perature above 5 ℃	间隔时间 /d Interval days	≥5 ℃有效 积温/(d·℃) Accumulated tem- perature above 5 ℃	
新疆大叶 Xinjiangbig leaf	05-12	70.00	965.10	2.00	42.90	72.00	1 008.00	
巨人 201 Ameristand201	05-12	70.00	965.10	2.00	42.90	72.00	1 008.00	
路宝 Lobo	05-12	71.00	933.10	5.00	108.50	76.00	1 041.60	
牧歌 401 Amerigraze401	05-12	70.00	936.00	4.00	88.30	74.00	1 024.30	
超级阿波罗 Apollo supreme	05-12	71.00	957.80	3.00	66.50	74.00	1 024.30	
美国杂交熊 Meiguozejiao	05-12	73.00	961.80	4.00	88.30	77.00	1 050.10	
超级 13R 13Rsupreme	05-12	79.00	988.70	5.00	108.50	84.00	1 097.20	
平均 Average	05-12	72.00	958.23	3.57	77.99	75.57	1 036.21	
2 茬刈草 The second cutting								
品 种 Variety	开花期 Flowering period	刈草时间 Date of the second cutting	第 1 次刈草—开花 The first cutting to flowering period		开花—第 2 次刈草 Flowering period to the second cutting		第 1 次刈草—第 2 次刈草 The first cutting to the second cutting	
			间隔 时间/d Interval days	≥5 ℃有效 积温/(d·℃) Accumulated tem- perature above 5 ℃	间隔 时间/d Interval days	≥5 ℃有效 积温/(d·℃) Accumulated tem- perature above 5 ℃	间隔 时间/d Interval days	≥5 ℃有效 积温/(d·℃) Accumulated tem- perature above 5 ℃
新疆大叶 Xinjiangbig leaf	06-20	07-01	39.00	847.60	11.00	316.20	50.00	1 163.80
巨人 201 Ameristand201	06-19	07-01	38.00	819.00	12.00	344.80	50.00	1 163.80
路宝 Lobo	06-17	07-01	36.00	767.20	14.00	396.60	50.00	1 163.80
牧歌 401 Amerigraze401	06-19	07-01	38.00	819.00	12.00	344.80	50.00	1 163.80
超级阿波罗 Apollo supreme	06-19	07-01	38.00	819.00	12.00	344.80	50.00	1 163.80
美国杂交熊 Meiguozejiao	06-18	07-01	37.00	792.80	13.00	371.00	50.00	1 163.80
超级 13R 13Rsupreme	06-16	07-01	35.00	743.40	15.00	420.40	50.00	1 163.80
平均 Average	06-18	07-01	37.29	801.14	12.71	362.66	50.00	1 163.80
3 茬刈草 The third cutting								
品 种 Variety	开花期 Flowering period	刈草时间 Date of the third cutting	第 2 次刈草—开花 The second cutting to flowering period		开花—第 3 次刈草 Flowering period to the third cutting		第 2 次刈草—第 3 次刈草 The second cutting to the third cutting	
			间隔 时间/d Interval days	≥5 ℃有效 积温/(d·℃) Accumulated tem- perature above 5 ℃	间隔 时间/d Interval days	≥5 ℃有效 积温/(d·℃) Accumulated tem- perature above 5 ℃	间隔 时间/d Interval days	≥5 ℃有效 积温/(d·℃) Accumulated tem- perature above 5 ℃
新疆大叶 Xinjiangbig leaf	08-15	08-31	45.00	1 162.70	16.00	352.80	61.00	1 515.50
巨人 201 Ameristand201	08-14	08-31	44.00	1 142.20	17.00	373.30	61.00	1 515.50
路宝 Lobo	08-10	08-31	40.00	1 044.80	21.00	470.70	61.00	1 515.50
牧歌 401 Amerigraze401	08-14	08-31	44.00	1 142.20	17.00	373.30	61.00	1 515.50
超级阿波罗 Apollo supreme	08-13	08-31	43.00	1 120.30	18.00	395.20	61.00	1 515.50
美国杂交熊 Meiguozejiao	08-13	08-31	43.00	1 120.30	18.00	395.20	61.00	1 515.50
超级 13R 13Rsupreme	08-9	08-31	39.00	1 019.20	22.00	496.30	61.00	1 515.50
平均 Average	08-12	08-31	42.57	1 107.39	18.43	408.11	61.00	1 515.50
4 茬刈草 The fourth cutting								
品 种 Variety	分枝期 Branch- ing period	刈草时间 Date of the fourth cutting	第 3 次刈草—分枝 The third cutting to branching period		分枝—第 4 次刈草 Branching period to the fourth cutting		第 3 次刈草—第 4 次刈草 The third cutting to the fourth cutting	
			间隔 时间/d Interval days	≥5 ℃有效 积温/(d·℃) Accumulated tem- perature above 5 ℃	间隔 时间/d Interval days	≥5 ℃有效 积温/(d·℃) Accumulated tem- perature above 5 ℃	间隔 时间/d Interval days	≥5 ℃有效 积温/(d·℃) Accumulated tem- perature above 5 ℃
新疆大叶 Xinjiangbig leaf	10-19	10-20	49.00	842.40	1.00	13.00	50.00	855.40
巨人 201 Ameristand201	10-19	10-20	49.00	842.40	1.00	13.00	50.00	855.40
路宝 Lobo	10-18	10-20	48.00	829.30	2.00	26.10	50.00	855.40
牧歌 401 Amerigraze401	10-18	10-20	48.00	829.30	2.00	26.10	50.00	855.40
超级阿波罗 Apollo supreme	10-18	10-20	48.00	829.30	2.00	26.10	50.00	855.40
美国杂交熊 Meiguozejiao	10-18	10-20	48.00	829.30	2.00	26.10	50.00	855.40
超级 13R 13Rsupreme	10-17	10-20	47.00	816.00	3.00	39.40	50.00	855.40
平均 Average	10-18	10-20	48.14	831.14	1.86	24.26	50.00	855.40

3 结论与讨论

Zaleski^[16]报道,与秋眠苜蓿品种相比,非秋眠品种开花早,春季返青早,夏季刈割再生迅速。刘建宁等^[17]在山西太原的试验认为,半秋眠和非秋眠性苜蓿品种的出苗期、分枝期、初花期均较秋眠性品种早 2~4 d,而其返青期较秋眠性品种迟 5~6 d,但这种差异在返青后的生长过程中很快消失。本研究不同紫花苜蓿品种返青期差异明显,非秋眠性品种超级 13R 对热量的要求较低,返青早;秋眠性品种巨人 201 和新疆大叶对热量的要求较高,返青时间较超级 13R 晚 13 d。返青后,不同品种紫花苜蓿到达各生育期的差异较小,前后相差仅 3~5 d,秋眠性品种新疆大叶和巨人 201 到达各个生育阶段的进程相对较晚,而非秋眠性品种超级 13R 和半秋眠性品种路宝、美国杂交熊、牧歌 104 和超级阿波罗到达各个生育阶段的时间相近。

同一茬次内,各生育阶段的时长与 $\geq 5\text{ }^{\circ}\text{C}$ 有效积温呈极显著线性相关。根据有效积温理论可求出紫花苜蓿从返青到分枝、从分枝到现蕾、从现蕾到开花、从开花到结荚的温度下限分别为 (5.68 ± 0.61) , (13.95 ± 1.78) , (17.37 ± 2.99) 和 $(21.83 \pm 0.95)\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。邓振镛^[18]认为,旱作条件下第 2~3 年生紫花苜蓿,返青至分枝期的适宜温度为 $5\sim 11\text{ }^{\circ}\text{C}$,分枝至现蕾期的适宜温度为 $11\sim 15\text{ }^{\circ}\text{C}$,与本试验的结论基本一致。

2004 年不同秋眠性紫花苜蓿刈割了 4 茬,前 3 茬在开花期刈割,第 4 茬在分枝末期刈割。全年刈草 $\geq 5\text{ }^{\circ}\text{C}$ 总有效积温为 $4\,570.91\text{ (d}\cdot\text{ }^{\circ}\text{C)}$,间隔时间为 236.57 d。第 1 茬苜蓿从返青到刈草需 $\geq 5\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的有效积温平均为 $1\,036.21\text{ (d}\cdot\text{ }^{\circ}\text{C)}$,间隔时间为 75.57 d;第 2 茬苜蓿需 $\geq 5\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的有效积温平均为 $1\,163.80\text{ (d}\cdot\text{ }^{\circ}\text{C)}$,间隔时间为 50 d;第 3 茬苜蓿需 $\geq 5\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的有效积温平均为 $1\,515.50\text{ (d}\cdot\text{ }^{\circ}\text{C)}$,间隔时间为 61 d;第 4 茬苜蓿需 $\geq 5\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的有效积温平均为 $855.40\text{ (d}\cdot\text{ }^{\circ}\text{C)}$,间隔时间为 50 d。紫花苜蓿现蕾期的温度下限为 $(17.37 \pm 2.99)\text{ }^{\circ}\text{C}$,当日平均温度 $\geq$ 此温度时,苜蓿才普遍开花。10 月上、中旬的日平均温度在 $10\sim 15\text{ }^{\circ}\text{C}$,并呈逐渐下降的趋势,第 4 茬紫花苜蓿没有现蕾的原因,主要是由于现蕾需要的最低温度不够,另外与发育阶段也有关系。徐得源等^[19]认为,根据当地积温可以确定人工栽培牧草刈割次数:在 $\geq 0\text{ }^{\circ}\text{C}$ 积温达 $4\,000\text{ (d}\cdot\text{ }^{\circ}\text{C)}$ 以上的地区,苜蓿每年可刈割 4 次; $\geq 0\text{ }^{\circ}\text{C}$ 积温达 $3\,500$

$(\text{d}\cdot\text{ }^{\circ}\text{C})$ 左右的地区,每年可以刈割 3 次; $\geq 0\text{ }^{\circ}\text{C}$ 积温达 $2\,500\text{ (d}\cdot\text{ }^{\circ}\text{C)}$ 左右的地区每年可以刈割 2 次;积温再低,每年只能刈割 1 次。试验区 2004 年 $\geq 0\text{ }^{\circ}\text{C}$ 积温达 $5\,150\text{ (d}\cdot\text{ }^{\circ}\text{C)}$, $\geq 5\text{ }^{\circ}\text{C}$ 有效积温达 $4\,961\text{ (d}\cdot\text{ }^{\circ}\text{C)}$,从理论上讲完全可以在开花期刈割 4 茬,但前提是各茬次苜蓿开花后应尽量在短期内收获完成(最好控制在 5 d 之内),间断期 $\geq 5\text{ }^{\circ}\text{C}$ 有效积温小于 $100\text{ (d}\cdot\text{ }^{\circ}\text{C)}$,以使第 4 茬苜蓿有足够的温度条件完成其生长发育过程。本研究 2004 年降水主要分布在 7~9 月份,即第 3 茬苜蓿生长收获期间,此时降水多、空气湿度大,导致该茬苜蓿开花较少,落花严重,影响了开花期的准确判别,造成该茬苜蓿开花至刈割时间延长,从而导致第 4 茬苜蓿不能完成其发育过程。

[参考文献]

- [1] 刘玉华. 紫花苜蓿生长发育及产量形成与气象条件关系的研究 [D]. 陕西杨凌:西北农林科技大学,2006.
Liu Y H. Study on the relations between growth and yield of alfalfa and climate conditions [D]. Yangling, Shaanxi: Northwest A&F University, 2006. (in Chinese)
- [2] 薛大伟,方茂庭,钱 前. 有效积温在水稻生产中的应用 [J]. 中国稻米, 2004(4): 47-48.
Xue D W, Fang M T, Qian Q. Application effective accumulated temperature to rice production [J]. China Rice, 2004(4): 47-48. (in Chinese)
- [3] 彭玉梅,崔鲜一. 紫花苜蓿生育与气象条件的研究 [J]. 内蒙古气象, 1996(2): 24-26.
Peng Y M, Cui X Y. Study on between growing and yielding of alfalfa and meteorology elements [J]. Meteorology Journal of Inner Mongolia, 1996(2): 24-26. (in Chinese)
- [4] 杨文义. 典型草原牧草返青的气象条件研究 [J]. 草业科学, 1995, 12(6): 47-49.
Yang W Y. The meteorological conditions for herbage turning green on the typical steppe [J]. Pratacultural Science, 1995, 12(6): 47-49. (in Chinese)
- [5] 颜亮东. 青海省环湖地区天然牧草返青与气象条件的关系及其预报 [J]. 中国农业气象, 1998, 19(2): 42-45.
Yan L D. The forecast and relation between the turning green of natural pasture in the district around Qinghai Lake and meteorological condition [J]. Chinese Journal of Agrometeorology, 1998, 19(2): 42-45. (in Chinese)
- [6] 中国牧区畜牧气候区划科研协作组. 中国牧区畜牧气候 [M]. 北京:气象出版社, 1988.
A team approach of scientific research to animal husbandry climatic divisions in pasture region of China. Animal husbandry climatic divisions in pasture region of China [M]. Beijing: Meteorology Press, 1988. (in Chinese)
- [7] 郎炳耀. 苜蓿生长发育及产量形成与温度和水分的关系 [J].

内蒙古草业,1990(2):76-80.

Lang B Y. Relationship between growing and yielding of alfalfa and temperature and water [J]. Pratacultural Inner Mongolia, 1990(2):76-80. (in Chinese)

[8] 黄冲平,王爱华,胡秉民. 作物生长温度效应的非线性模型及其比较研究 [J]. 生物数学学报,2004,19(4):481-486.

Huang C P, Wang A H, Hu B M. Study on temperature driven nonlinear models of crop growth and their application [J]. Journal of Biomathematics, 2004, 19(4):481-486. (in Chinese)

[9] van Delden A, Kropff M J, Haverkort A J. Modeling temperature-and radiation-driven leaf area expansion in the contrasting crops potato and wheat [J]. Field Crops Research, 2001, 72(2):119-142.

[10] 高亮之,金之庆,黄 耀. 水稻钟模型-水稻发育动态的计算机模型 [J]. 中国农业气象,1989,10(3):3-10.

Gao L Z, Jin Z Q, Huang Y. Rice clock model-A computer simulation model of rice development [J]. Chinese Journal of Agrometeorology, 1989, 10(3):3-10. (in Chinese)

[11] 白文明,包雪梅. 乌兰布和沙区紫花苜蓿生长发育模拟研究 [J]. 应用生态学报,2002,13(12):1605-1609.

Bai W M, Bao X M. Simulation alfalfa growth in Wulanbuhe sandy region [J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2002, 13(12):1605-1609. (in Chinese)

[12] 沈国权. 影响作物发育速度的非线性温度模式 [J]. 气象, 1980, 6(6):9-11.

Shen G Q. Non-line temperature models influencing development rate of crop [J]. Meteorology, 1980, 6(6):9-11. (in Chinese)

[13] 吕贞龙,徐寿军,庄恒扬. 作物发育温度非线性效应 Beta 模型的特征分析 [J]. 生态学报,2008,28(8):3737-3742.

Lu Z L, Xu S J, Zhuang H Y. Characteristics of the Beta function for nonlinear effects of temperature on crop phenological development [J]. Acta Ecologica Sinica, 2008, 28(8):3737-3742. (in Chinese).

[14] 彦习武. 作物发育速度与温度关系的数学模式 [J]. 南京气象学院学报,1988,11(1):15-23.

Yan X W. Mathematic models between temperature and crop growth rate [J]. Journal of Nanjing Institute of Meteorology, 1988, 11(1):15-23. (in Chinese)

[15] 杨青川. 苜蓿生产与管理指南 [M]. 北京:中国林业出版社, 2001.

Yang Q C. Guide of production and management of alfalfa [M]. Beijing:Forestry Press in China, 2001. (in Chinese)

[16] Zaleski A. Identification and classification of Lucerne varieties and strains [J]. Agric Sci, 1954, 44:199-220.

[17] 刘建宁,胡跃高,王运琦,等. 紫花苜蓿休眠类型与生长特性及生产性能的研究 [C]//第二届中国苜蓿发展大会论文集. 北京:中国农业出版社,2003:66-68.

Liu J N, Hu Y G, Wang Y Q, et al. Growth characteristics and productivity of different alfalfa dormancy types [C]//The secondary convention of alfalfa development in China. Beijing:Chinese Agriculture Press, 2003:66-68. (in Chinese)

[18] 邓振镛. 干旱地区农业气象研究 [M]. 北京:气象出版社, 1999:214-215.

Deng Z Y. Agrometeorology in arid and semi-arid area [M]. Beijing: Meteorology Press, 1999:214-215. (in Chinese)

[19] 徐得源. 牧草生长发育和产量形成与气象条件的关系 [J]. 气象, 1993(4):8-11.

Xu D Y. Relationship between growing and yielding of herbage and meteorology elements [J]. Meteorology, 1993(4):8-11. (in Chinese)