

The Study on Physiological Ecology of Alfalfa

苜蓿 生理生态 研究

The Study on
Physiological
Ecology of



科学出版社
www.sciencep.com

(S-0614.0101)



The Study on Physiological Ecology of

Alfalfa



生物分社

联系电话: 010-64012501

<http://www.lifescience.com.cn>

e-mail: lifescience@mail.sciencep.com

销售分类建议: 农业

ISBN 978-7-03-029065-6



9 787030 290656 >

定价: 86.00 元

苜蓿生理生态研究

贾志宽 等 著

科学出版社

北 京

内 容 简 介

本书是依托国家科技项目,在苜蓿生理生态多年研究工作的基础上,对研究工作的系统性和阶段性总结,内容主要反映了作者近十年苜蓿研究中独具特色的部分。内容包括:苜蓿生长发育与气象条件的关系、苜蓿抗逆性研究、不同苜蓿品种光合特性研究、不同苜蓿品种根系形态及吸水规律研究、断根对紫花苜蓿生理生态效应的影响、不同生长年限苜蓿生产性能及对土壤的环境效应,以及苜蓿草田轮作土壤环境效应研究等方面。

本书可为从事牧草研究及教学的科教人员提供参考。

图书在版编目(CIP)数据

苜蓿生理生态研究/贾志宽等著. —北京:科学出版社, 2010

ISBN 978-7-03-029065-6

I. ①苜… II. ①贾… III. ①紫花苜蓿-研究 IV. ①S551

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2010) 第 186399 号

责任编辑:李秀伟 李晶晶 / 责任校对:陈玉凤

责任印制:钱玉芬 / 封面设计:耕者设计工作室

科学出版社出版

北京东黄城根北街 16 号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

新蕾印刷厂印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2010 年 9 月第 一 版 开本:787×1092 1/16

2010 年 9 月第一次印刷 印张:23 1/4

印数:1—1 000 字数:538 000

定价:86.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换)

《苜蓿生理生态研究》著者名单

贾志宽	西北农林科技大学
刘玉华	河南科技大学
万素梅	塔里木大学
刘沛松	平顶山学院
寇建村	西北农林科技大学
韩清芳	西北农林科技大学
黄 伟	西北农林科技大学
李崇巍	天津师范大学
任小龙	西北农林科技大学
董志新	西北农林科技大学

前 言

紫花苜蓿 (*Medicago sativa* L.) 简称苜蓿, 是一种来自近东和中亚的豆科牧草, 起源于小亚细亚、外高加索、伊朗和土库曼的高地, 即著名的前苏联遗传学家 Н. И 瓦维洛夫提出的农作物起源的近东中心, 而苜蓿起源的地理学中心是伊朗。我国汉代张骞出使西域引种后在我国西北、华北等地种植, 经过两千多年来的传播、培育, 现在已成为种植面积最广的栽培牧草, 也是世界上栽培历史最悠久、面积最广泛的深根系多年生豆科牧草, 具有适应性广、产量高、品质好、经济效益高、营养丰富等特点, 被誉为“牧草之王”; 它不仅抗旱、抗寒、耐盐碱, 而且能够固氮改土、改善生态环境。

苜蓿在我国广泛分布于华北、西北、黄淮海、东北南部地区, 苜蓿产业的发展现已成为带动种植业结构调整、促进饲料工业及高效畜牧业发展的动力; 同时扩种苜蓿也是我国中西部地区退耕还草、加强生态环境建设的重要内容。

出于我国国情的考虑, 农业科研历来对粮食作物的研究比较重视, 对牧草作物的研究十分薄弱。基于我国苜蓿生产发展的趋势和研究工作相对滞后的情况, 我们从 2001 年开始进行相关研究, 内容包括: 苜蓿生长发育与气象条件的关系、苜蓿抗逆性研究、不同苜蓿品种光合特性研究、不同苜蓿品种根系形态及吸水规律研究、断根对紫花苜蓿生理生态效应的影响、不同生长年限苜蓿生产性能及对土壤的环境效应、苜蓿草田轮作土壤环境效应研究等方面, 通过较为系统和深入的研究, 获得了大量数据资料及阶段性成果, 先后发表学术论文近百篇, 获得省部级科技进步奖二等奖一项, 这些科研积累对推进我国苜蓿产业化发展、苜蓿生产合理布局、生态农业建设及苜蓿栽培与育种具有重要的理论价值和实践意义。

“苜蓿生理生态研究”先后得到农业部“948”项目“高产优质抗逆苜蓿新品种的引进及繁育”、农业部农业结构调整重大技术研究专项“西北旱区优质高产抗逆紫花苜蓿品种的筛选及其配套栽培技术研究”、教育部科学技术研究重点项目“农牧交错区草业助推技术体系研究”、陕西省科技厅农业科技攻关项目“陕北黄土高原丘陵沟壑区退耕种草综合技术体系研究”、陕西省财政厅基地建设项目“国内外优良苜蓿品种示范及繁育基地建设”、宁夏回族自治区科技攻关计划项目“宁南山区高产抗逆优质苜蓿新品种繁育基地建设”等资助, 同时在研究过程中参阅了国内外大量研究资料, 在此向所有支持该研究的各个部门及专家深表谢意!

在历时十年的研究过程中, 有 25 位硕士生及 8 位博士生参加了相关研究工作, 并完成了他们的论文, 在本书出版之际对他们的辛勤劳动和努力表示感谢! 需要特别感谢

的是西北农林科技大学聂俊峰老师，他自始至终参与了本研究的工作，从研究方案的实施到研究生试验的指导，都倾注了他的汗水。

本书即将出版，许多研究内容还未包含其中，所涉内容尚需进一步深化，研究论点也许有不足之处，敬请读者在参阅本书时提出宝贵意见。

贾志宽

2010年5月5日于杨凌

目 录

前言

第一章 苜蓿生长发育与气象条件的关系	1
第一节 材料与方法	1
第二节 紫花苜蓿物候期与气象条件的研究	3
第三节 紫花苜蓿生长特性与气象条件关系的研究	13
第四节 紫花苜蓿光合作用日变化规律及其与气象因子的关系	29
第五节 紫花苜蓿草产量与气象因子的关系	40
第六节 紫花苜蓿地土壤水分与产草量的研究	50
参考文献	61
第二章 苜蓿抗逆性研究	65
第一节 不同苜蓿品种的抗旱性	65
第二节 不同苜蓿品种的耐热性和抗寒性	72
第三节 不同苜蓿品种耐盐性研究	79
第四节 不同苜蓿品种抗蚜性鉴定及抗性机理	84
参考文献	103
第三章 不同苜蓿品种光合特性研究	105
第一节 材料与方法	105
第二节 不同苜蓿品种分枝期光合特性研究	108
第三节 不同苜蓿品种现蕾期光合特性研究	117
第四节 不同苜蓿品种开花期光合特性研究	126
第五节 不同苜蓿品种不同茬次开花期光合日变化特征比较	134
参考文献	140
第四章 不同苜蓿品种根系形态及吸水规律研究	142
第一节 材料与方法	142
第二节 不同秋眠级数苜蓿品种根颈特性	143
第三节 不同秋眠级数苜蓿品种根系形态特性	148
第四节 不同秋眠级数苜蓿品种根系吸水规律	158
第五节 结论与讨论	162
参考文献	164
第五章 断根对紫花苜蓿生理生态效应的影响	166
第一节 断根对紫花苜蓿生长发育的影响	166
第二节 断根对紫花苜蓿光合作用的影响	184
第三节 断根对紫花苜蓿叶绿素荧光特性的影响	188

第四节	断根对紫花苜蓿叶片硝酸还原酶和谷氨酰胺合成酶活性的影响·····	202
第五节	断根对紫花苜蓿叶片保护酶活性和丙二醛含量的影响·····	209
第六节	断根对紫花苜蓿叶片中渗透调节物质的影响·····	222
第七节	断根对紫花苜蓿冠层温度的影响·····	231
	参考文献·····	235
第六章	不同生长年限苜蓿生产性能及对土壤的环境效应·····	237
第一节	材料与方法·····	237
第二节	黄土高原地区不同生长年限苜蓿生物学性状分析·····	243
第三节	不同生长年限苜蓿光合作用日变化及其与环境因子的关系·····	257
第四节	黄土高原苜蓿不同叶位光合作用日变化规律研究·····	271
第五节	黄土高原不同生长年限苜蓿草地土壤水分消耗特征研究·····	275
第六节	黄土高原不同生长年限苜蓿对土壤水分环境的影响·····	284
第七节	黄土高原地区苜蓿生产力动态及水分利用效率研究·····	289
第八节	黄土高原不同生长年限苜蓿草地土壤理化性质研究·····	293
	参考文献·····	302
第七章	苜蓿草田轮作土壤环境效应研究·····	306
第一节	草田轮作试验设计和研究内容·····	306
第二节	宁南旱区苜蓿土壤干层水分时空动态规律·····	311
第三节	草粮轮作对苜蓿土壤干层水分恢复的可行性分析·····	318
第四节	宁南旱区草粮轮作系统中紫花苜蓿适宜利用年限研究·····	323
第五节	不同草粮轮作方式土壤水分时空动态及水分恢复效应·····	331
第六节	不同草粮轮作方式土壤养分动态及氮素利用效率比较·····	348
第七节	宁南旱区最佳草粮轮作模式的确定·····	354
	参考文献·····	360

第一章 苜蓿生长发育与气象条件的关系

迄今为止，农作物产量与气候生态条件的关系已在许多作物上有过研究，如玉米、大麦、小麦、水稻、棉花、大豆、牧草等作物。有关苜蓿生长发育与气候生态条件关系的研究较少，大多停留在对苜蓿各生育期内气象要素的平均值、积累值、极值等的统计分析上。虽然能结合当地生产实践，定量地评述气候资源的有利与不利的情况，提出开发利用的一些意见，但这仅仅是一项基础性的研究工作，有些问题还难以回答，因此无法深刻揭示当地苜蓿生长与气候条件的关系，也难以提出符合当地发展的建设性意见。例如，①产量对气候条件的依存究竟有多大？在当前生产水平和技术条件下，哪些因素是影响产量的主导因素？②在苜蓿发育期的时间序列中，究竟哪一种气候因素起主导作用？哪一时期是关键时期？对产量有何显著的贡献？③苜蓿的生长发育与主要影响因素及关键时期的数值关系如何？④根据本地区的气候特征，苜蓿的气候生产力有多大？诸如此类的问题都有待于深入研究。

基于我国紫花苜蓿生产发展和研究中出现的问题，为推进苜蓿产业化发展，必须深入地研究苜蓿产量变异与气候条件的关系，定量估算气候要素的波动对产量的效应和贡献，从而获得苜蓿生长与农业气候环境信息的可靠数据，为我国紫花苜蓿品种高产栽培、育种和引种、合理布局及建立优质产业化生产基地提供科学依据；另外，亦可为国内苜蓿生长模型的研究和发展及苜蓿生产管理数字化奠定基础。因此，探明气候生态因素与苜蓿生长发育和产量的关系，进一步揭示苜蓿生长发育规律，具有十分重要的意义。

第一节 材料与方法

一、自然概况

试验地前茬为小麦，设在陕西杨凌西北农林科技大学农作一站。该站位于秦岭北麓、渭河平原西部的头道塬上，北纬 $34^{\circ}21'$ ，东经 $108^{\circ}10'$ ，海拔 454.8m，该区属于暖温带半湿润季风气候区，年均日照时数 2150h，年平均气温为 $12\sim 14^{\circ}\text{C}$ ，极端最高气温为 $39\sim 40^{\circ}\text{C}$ ，极端最低气温为 $-21\sim -15^{\circ}\text{C}$ ，全年无霜期为 221 天，年均蒸发量为 993mm，年平均降水量为 621.6mm。年内降水分配不均，春季降水偏少、干旱，60% 以上的降水集中在 7 月、8 月、9 月 3 个月，年际变化大，丰枯比为 3.0，变异系数为 0.25。土壤为黑垆土，土层深厚、通气良好，有机质为 1.59%，全氮为 0.055%，田间持水量为 21.12%，地下水埋深约 80m。

二、供试品种

参试苜蓿品种共 7 个，品种名称、秋眠级数和来源见表 1-1。

表 1-1 苜蓿品种名称、秋眠级数和来源

品种中文名	英文名称	秋眠级数	品种来源
巨人 201	Ameristand 201	2	美国
路宝	Lobo	5	美国
牧歌 401	Amerigraze 401	4	美国
超级阿波罗	Apollo supreme	4	美国
超级 13R	13R supreme	8	美国
美国杂交熊	America-cross Xiong	4	中国宁夏
新疆大叶	Xinjiang big leaf	3	中国新疆

三、试验设计

参试品种为随机区组设计, 试验小区面积 $2.0\text{m} \times 9.0\text{m}$, 每小区 5 行, 行距 30cm, 每品种 5 个重复。供试品种均在 2001 年 5 月 4~6 日三天播种。播种量为 $15\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$, 拌沙后人工条播, 播深 2cm, 播前灌溉、整地耙平。分别于 2001 年 5 月 19 日出苗。整个生育期间不灌水、不施肥、不喷药, 田间人工适时除草。自建植第 2 年起每年在初花期刈割 3 次, 分别在 5 月中旬、7 月初和 9 月中旬。

四、测定项目和方法

(一) 生育期的观测

返青期、分枝期、现蕾期、初花期和盛花期的记载标准参考《苜蓿生产管理指南》(杨青川, 2001)。鉴别的标准是: 70% 的植株达到某一生育阶段为到达某一生育期; 10%~20% 植株到达为初期, 80% 植株到达为盛期。

(二) 株高动态测定

苜蓿普遍返青后, 株高约 15cm 时, 各品种随机选择有代表性的 10 株健康幼苗, 每隔 7 天定株测定, 株高用卷尺测量, 精确到 0.1cm。

(三) 生物量动态测定

从返青期开始, 株高约 15cm 时, 每隔 7 天取样测定各个品种地上部分的生物量。具体方法是: 每次每个品种取样 0.15m^2 (行长 50cm 的苜蓿), 齐地刈割, 重复 3 次, 分别称鲜重。用四分法取样, 之后将其茎 (包括繁殖器官)、叶等分别收集, 称鲜重后于 105°C 下杀青 15min, 80°C 烘干至恒重, 称量各部分干重。总生物量以茎干重和叶干重之和表示。根据茎、叶部分的生物量, 计算青干比 (F/D) 和茎叶比 (LSR)。其计算公式为

$$\text{青干比} = \text{样品鲜重(g)} / \text{样品干重(g)}$$

$$\text{茎叶比} = \text{烘干样中茎干重(g)} / \text{烘干样中叶干重(g)}$$

(四) 产草量的测定

在初花期(10%开花时)测定不同苜蓿品种的产草量。测产样方为 1m×1m, 齐地刈割, 重复 3 次, 在田间分别称其鲜重。用四分法取样约 100g 鲜草, 于烘箱内 105℃ 下杀青 15min, 80℃ 烘干至恒重, 称量烘干重。根据青干比计算干草产量, 产量取平均值后折算成每公顷千克数 ($\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$)。

(五) 光合特性测定

2004 年 6 月 23 日, 正值第二茬苜蓿处于初花期时测定巨人 201、牧歌 401、路宝、新疆大叶的光合日变化特性。采用 Li-6400 便携式光合仪田间活体测定苜蓿叶片的光合生理生态指标, 主要包括: 叶片的光合速率 (P_n , $\mu\text{molCO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$)、蒸腾速率 (T_r , $\text{mmolH}_2\text{O} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$)、气孔导度 (G_s , $\text{cm} \cdot \text{s}^{-1}$)、胞间 CO_2 浓度 (C_i , $\mu\text{mol} \cdot \text{mol}^{-1}$) 等生理因子以及大气温度 (T_a , $^{\circ}\text{C}$)、田间 CO_2 浓度 (C_a , $\mu\text{mol} \cdot \text{mol}^{-1}$)、相对湿度 (RH, %)、光合有效辐射 (PAR, $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$) 等环境因子。气孔限制值 (L_s , %) 和叶片瞬时水分利用效率 (WUE, $\mu\text{molCO}_2 \cdot \text{mmol}^{-1}$) 由公式计算, 即 $L_s = 1 - C_i/C_a$ (Berry and Downton, 1982); $\text{WUE} = P_n/T_r$ (Fischer and Turner, 1978)。叶面积的测定利用公式: 叶面积 = 叶长 × 叶宽 × 0.71 (曹亦芬和曹致中, 1990)。测定时每品种随机选取生长良好的分枝, 测定倒数第三片完全展开的健康完整叶片。测定从上午 6:00 到下午 18:00, 每隔 2h 测定 1 次, 每次每品种测定均随机选取 4 个叶片重复测定。

(六) 土壤水分测定

2004 年苜蓿返青前和每茬收获时每隔 20cm 测定、记录地下 5m 深土壤水分。测定 2004 年第一茬苜蓿不同生育期土壤水分状况。2005 年返青和第一茬收获时每隔 20cm 测定 5m 深土壤水分。土壤水分的测定利用 CDR-503 型中子仪每隔 20cm 测定, 地面以下 0~20cm 用土钻烘干法测定。

五、试验数据处理

采用 Excel 2000 进行数据的简单处理和图表绘制, DPS3.01 和 SPSS11.0 进行数据的方差分析、相关分析和多元统计分析, 曲线模拟利用 Curve Expert 1.34 完成。

六、气象资料来源

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。气象指标包括逐日最高气温、逐日最低气温、逐日平均气温、逐日降雨量、逐日相对湿度和日照时数等。

第二节 紫花苜蓿物候期与气象条件的研究

物候期反映了一年中苜蓿生长发育的规律性变化。物候变化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,尤其以气象条件影响较大,且气象条件中以温度的影响最大。物候期与一年中气候的季节性变化相吻合,正是这一特点使苜蓿物候期因年际间气象条件的波动而差异较大,也因地区间气象条件的差异而不同。

前人对苜蓿生产,特别是苜蓿抗寒性、耐热性、抗旱性、秋眠性和气候生态区划等进行了大量研究(刘建宁等,2003;苏加楷,2003;李崇巍等,2002)。但是国内有关苜蓿物候期与气象条件关系的研究很少,且多限于单一品种或定性分析。关于温度对作物发育影响的研究最早、最普通的是积温法,后来许多学者又提出了温度非线性模型(高亮之等,1989;彦习武,1988;沈国权,1980)。但是在这些模型中均未考虑品种因子,建立模型时,以一个品种分别模拟,利用模型参数的不同描述品种之间的差异,影响了模型的普适性。因此,为了较全面地揭示苜蓿物候期与气象条件的关系,为苜蓿育种、栽培及开展物候期预报提供依据,本节分别研究了7个不同秋眠级数苜蓿品种返青的气象条件以及各生育阶段和各茬次的热量指标,然后综合各品种特性总结出苜蓿物候期气象条件的规律,并做出定量分析。

一、紫花苜蓿返青的气象条件

(一) 年际间紫花苜蓿返青与气象条件的关系

苜蓿返青主要受水热条件的制约。多年生苜蓿经过秋冬几个月的黄枯期后,必须具备一定的热量和水分条件后才能返青。对于旱作农业,大气降水是苜蓿生长发育需水的唯一来源。苜蓿返青所需水分主要依靠上年度收获后的降水和返青前当年的降水。而有关苜蓿返青的温度指标有 0°C 、 3°C 、 3.5°C 和 5°C 的不同说法(颜亮东,1998;崔鲜一等,1996;杨文义,1995;张国胜和李希来,1992)。苜蓿返青时须通过最低温度临界值,当气温超过这一温度临界值后可诱发苜蓿返青。

不同年度苜蓿返青期及其温度指标见表1-2。

表 1-2 不同年度苜蓿返青与水热条件的关系

年份	返青期			$\geq 0^{\circ}\text{C}$ 初日—返青			$\geq 5^{\circ}\text{C}$ 初日—返青			上年度 降水量 /mm	返青前 当年降 水量 /mm
	(月-日)	$\geq 0^{\circ}\text{C}$ 初日 (月-日)	$\geq 5^{\circ}\text{C}$ 初日 (月-日)	天数	积温 / $^{\circ}\text{C}$	日平均 温度/ $^{\circ}\text{C}$	天数	积温 / $^{\circ}\text{C}$	有效积温 / $^{\circ}\text{C}$	日平均 温度/ $^{\circ}\text{C}$	
2002	2-28	1-23	2-9	37.00	157.73	4.25	20.00	96.74	31.30	6.14	11.50
2003	3-2	1-29	2-17	33.00	139.20	4.16	14.00	103.40	33.40	7.38	437.00
2004	2-26	1-27	2-10	31.00	131.30	4.14	17.00	110.00	35.00	6.90	914.00
2005	3-12	2-20	3-4	21.00	109.20	4.90	9.00	48.40	23.40	6.86	551.50
平均	3-3	2-1	2-17	30.50	134.36	4.36	15.00	89.64	30.78	6.82	634.16

由表1-2分析4年以来苜蓿返青的气象条件可知,各年苜蓿返青期在2月底至3月初,且均在 0°C 和 5°C 初日之后。用 0°C 初日作为苜蓿返青期的指标,苜蓿返青推迟21~37天,相差16天,平均推迟30.5天,日平均温度大于 4°C ;用 5°C 初日作为苜蓿的返青期,苜蓿返青推迟9~20天,相差11天,平均推迟15天,日平均温度大于

6℃。可以看出苜蓿返青与日平均温度稳定通过 5℃ 的日期更接近。因此,在气候分析中,基本可以使用日平均温度稳定通过 5℃ 的初日作为苜蓿返青的温度指标。

从 $\geq 0^{\circ}\text{C}$ 和 $\geq 5^{\circ}\text{C}$ 的初日分析,各年初日出现时间早晚不同,造成年际间返青的差异。基本上是初日出现的时间早,返青就早,反之,初日出现的时间晚,返青晚。从 0°C 初日到返青间隔平均约 30.5 天, 5°C 初日到返青间隔平均约 15 天。

从返青前的积温分析,返青前 $\geq 0^{\circ}\text{C}$ 的积温最多的 2002 年达 157.73°C ,最少的 2005 年也达 109.20°C ,而返青前 $\geq 5^{\circ}\text{C}$ 的积温最多的 2004 年达 110°C ,最少的 2005 年达 48.4°C ,有效积温为 $23.40\sim 35.00^{\circ}\text{C}$ 。因此,当返青前 $\geq 0^{\circ}\text{C}$ 的积温达到 134.36°C , $\geq 5^{\circ}\text{C}$ 的积温达 89.64°C 或有效积温达 30.78°C 时,苜蓿即可返青。

从上年度的降水量分析,2003 年降水量最多,达 914mm,表现为 2004 年返青最早;相反,2002 年和 2004 年降水较少,表现为返青日期较晚。降水多的年份,土壤水分得到一定程度的补充,由于苜蓿是深根系作物,可以有效地吸收地下深层的土壤水分,因此苜蓿返青与上年度降水量呈正相关。

从返青前当年的降水量分析,返青前降水量多的年份,返青日期较晚,但是返青速度快,即从 5°C 初日到返青所需时间短;返青前降水量少的年份,返青日期早,但是返青速度慢,即从 5°C 初日到返青所需时间相对较长。例如,2005 年返青前降水量高于其他年度 $11.82\sim 16.5\text{mm}$,苜蓿返青期却晚于其他年度 10~15 天,且所需 $\geq 0^{\circ}\text{C}$ 的和 $\geq 5^{\circ}\text{C}$ 的天数也较其他年度分别少 10~16 天或 5~11 天。而 2004 年和 2002 年降水低于 2003 年,返青出现的时间相对较早,且所需 $\geq 0^{\circ}\text{C}$ 的和 $\geq 5^{\circ}\text{C}$ 的天数较多。因此,苜蓿返青期出现的早晚与返青前当年的降水量多少表现出负的相关性。究其原因主要是返青前当年的降水在一定程度上降低了气温,返青相对推迟,但是另外一方面也促进了水热配合,致使从 0°C 初日或 5°C 初日到苜蓿返青速度加快。

(二) 不同紫花苜蓿品种返青的热量指标

苜蓿所需的热量主要取决于大气及土壤的温度。不同苜蓿品种返青对热量条件的需求各有差异,且同一种苜蓿在不同的年份由于可塑性物质积累的差异及土壤水分的不同对热量条件的需求也不同。2002 年和 2004 年不同苜蓿品种的返青期及其返青前 10 天的平均温度如表 1-3 所示。

表 1-3 不同苜蓿品种返青及其温度指标

品种	返青期 (月-日)			返青前 10 天平均气温/ $^{\circ}\text{C}$		
	2002 年	2004 年	平均	2002 年	2004 年	平均
新疆大叶	3-5	3-1	3-3	5.42	7.68	6.55
巨人 201	3-5	3-1	3-3	5.42	7.69	6.56
路宝	2-25	2-26	2-25	6.98	6.95	6.97
牧歌 401	3-3	2-28	3-1	6.51	6.95	6.73
超级阿波罗	3-3	2-28	3-1	6.51	6.95	6.73

续表

品种	返青期 (月-日)			返青前 10 天平均气温/℃		
	2002 年	2004 年	平均	2002 年	2004 年	平均
美国杂交熊	2-28	2-25	2-26	6.73	6.68	6.71
超级 13R	2-21	2-18	2-19	6.02	5.58	5.80
平均	2-28	2-26	2-27	6.23	6.93	6.58

由表 1-3 可以看出,不同年份同一苜蓿品种的返青期相差不大,为 1~4 天,而同一年份不同苜蓿品种间返青期差异较大,返青最早和最晚的时间相差约 12 天,这主要取决于春季的升温过程和各品种返青时所需的热量。2002 年和 2004 年不同苜蓿品种返青早晚的顺序均表现为超级 13R 返青最早,其次是路宝、美国杂交熊、牧歌 401 和超级阿波罗,新疆大叶和巨人 201 返青最晚。各品种返青前 10 天平均气温均大于 5℃,表明不同苜蓿品种返青时所需的起始温度是相同的。由此也进一步说明以 5℃初日作为苜蓿的返青指标比 0℃更准确。

由表 1-3 还可以看出,2002 年和 2004 年不同品种返青前 10 天平均气温的变化存在一定的差异。2004 年返青前 10 天平均气温最低的是超级 13R,其次为美国杂交熊、路宝、牧歌 401 和超级阿波罗,新疆大叶和巨人 201 所需温度较高。而 2002 年返青前 10 天平均气温最低的是新疆大叶和巨人 201,其次为超级 13R、牧歌 401 和超级阿波罗、美国杂交熊、路宝。这种差异主要是返青前降雨导致气温降低程度及持续日数不同所致。综合两年的观测分析可知,非秋眠性品种超级 13R 返青所需温度较低 (5.80℃),而秋眠性品种巨人 201、新疆大叶和半秋眠性品种路宝、美国杂交熊、牧歌 401 及超级阿波罗返青相对所需温度较高 (均大于 6.5℃)。

为了进一步探索不同秋眠性苜蓿品种之间返青的规律,下面从积温角度进行分析。从表 1-4 中可以看出,不同年份间各品种返青前 $\geq 0^{\circ}\text{C}$ 和 $\geq 5^{\circ}\text{C}$ 的积温有所不同,但都存在一致的规律,即超级 13R 所需积温较低,其次为路宝、美国杂交熊、牧歌 401 和超级阿波罗,巨人 201 和新疆大叶所需积温较高。

表 1-4 不同苜蓿品种返青前 $\geq 0^{\circ}\text{C}$ 和 $\geq 5^{\circ}\text{C}$ 的积温

品种	返青前 $\geq 0^{\circ}\text{C}$ 积温/℃			返青前 $\geq 5^{\circ}\text{C}$ 积温/℃		
	2002 年	2004 年	平均	2002 年	2004 年	平均
新疆大叶	182.32	164.90	173.61	116.30	143.60	129.95
巨人 201	182.32	172.20	177.26	116.30	150.90	133.60
路宝	143.33	131.30	137.32	86.64	110.00	98.32
牧歌 401	172.82	148.60	160.71	109.75	127.30	118.53
超级阿波罗	172.82	148.60	160.71	109.75	127.30	118.53
美国杂交熊	157.73	122.60	140.17	96.74	101.50	99.12
超级 13R	113.94	75.70	94.82	57.35	59.20	58.28
平均	160.75	137.70	149.23	98.98	117.11	108.05

结合上述的分析可知,非秋眠性品种超级 13R 比半秋眠性品种路宝、美国杂交熊、牧歌 401 和超级阿波罗以及秋眠性品种巨人 201、新疆大叶对热量的要求低,返青早;而秋眠性苜蓿品种对热量的要求高,返青晚。

二、紫花苜蓿各生育阶段的气象条件

(一) 紫花苜蓿各生育阶段的热量指标

从各苜蓿品种的生育期观测结果来看(表 1-5),不同苜蓿品种返青期差异明显,返青以后的各生育阶段进程差异很快缩小。不同生育阶段,非秋眠性品种超级 13R 返青最早,秋眠性品种巨人 201 和新疆大叶返青最晚,前后相差 13 天;而在返青后各苜蓿品种到达某一生育阶段的进程早晚相差仅为 3~5 天,秋眠性品种新疆大叶和巨人 201 到达各个生育阶段的进程最晚,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 401 和超级阿波罗)各个生育阶段进程很接近。综合以上分析可知,不同苜蓿品种的生育期和其秋眠性密切相关。非秋眠性苜蓿品种返青早,开花早,秋眠性苜蓿品种返青晚,开花晚。但这并不意味着非秋眠性品种完成整个生育期所经历天数少、积温低,而秋眠性品种完成整个生育期所经历天数多、积温高。

表 1-5 2004 年不同苜蓿品种的生育阶段

品种	生育阶段(月-日)				
	返青期	分枝期	现蕾期	开花期	结荚期
新疆大叶	3-1	3-30	4-26	5-10	5-24
巨人 201	3-1	3-31	4-26	5-10	5-23
路宝	2-26	3-28	4-23	5-7	5-20
牧歌 401	2-28	3-29	4-24	5-8	5-20
超级阿波罗	2-28	3-29	4-24	5-9	5-22
美国杂交熊	2-25	3-29	4-23	5-8	5-20
超级 13R	2-18	3-27	4-25	5-7	5-20

表 1-6 为 4 年生不同苜蓿品种各生育期的积温指标。

表 1-6 4 年生不同苜蓿品种各生育阶段 $\geq 5^{\circ}\text{C}$ 积温

品种	返青—分枝		分枝—现蕾		现蕾—开花		开花—结荚		返青—开花		返青—结荚	
	$\geq 5^{\circ}\text{C}$		$\geq 5^{\circ}\text{C}$		$\geq 5^{\circ}\text{C}$		$\geq 5^{\circ}\text{C}$		$\geq 5^{\circ}\text{C}$		$\geq 5^{\circ}\text{C}$	
	天数	积温 / $^{\circ}\text{C}$	天数	积温 / $^{\circ}\text{C}$	天数	积温 / $^{\circ}\text{C}$	天数	积温 / $^{\circ}\text{C}$	天数	积温 / $^{\circ}\text{C}$	天数	积温 / $^{\circ}\text{C}$
新疆大叶	29.00	270.90	27.00	438.90	14.00	255.30	14.00	297.20	70.00	965.10	84.00	1262.30
巨人 201	30.00	281.60	26.00	428.20	14.00	255.30	13.00	276.80	70.00	965.10	83.00	1262.30
路宝	31.00	277.90	26.00	417.10	14.00	238.10	13.00	273.80	71.00	933.10	84.00	1206.90
牧歌 401	30.00	275.80	26.00	416.30	14.00	243.90	12.00	253.60	70.00	936.00	82.00	1189.60
超级阿波罗	30.00	275.80	26.00	416.30	15.00	265.70	13.00	277.80	71.00	957.80	84.00	1235.60
美国杂交熊	33.00	301.60	25.00	401.90	15.00	258.30	12.00	253.60	73.00	961.80	85.00	1215.40
超级 13R	38.00	320.70	29.00	458.10	12.00	209.90	13.00	273.80	79.00	988.70	92.00	1262.50

从表 1-6 中可以看出, 非秋眠性品种超级 13R 从返青到结荚所需时间为 92 天, 积温为 1262.50℃; 从返青到开花所需时间为 79 天, 积温为 988.70℃。而其他品种从返青到结荚所需时间为 82~85 天, 积温为 1189.60~1262.30℃; 从返青到开花所需时间为 70~73 天, 积温为 933.10~965.10℃。这主要是返青到分枝阶段各品种所经历天数和积温差异较大所致。非秋眠性品种超级 13R 从返青到分枝所经历天数和积温大于其他品种, 在以后的生育阶段各品种之间差异不是很大。

(二) 紫花苜蓿生育阶段长短与气象条件的关系

从返青期至结荚期, 紫花苜蓿各生育阶段的长短与当地气候条件非常密切。利用多元回归统计方法求出不同苜蓿品种各生育阶段天数与其相应时间内平均温度、 $\geq 5^{\circ}\text{C}$ 积温、降水和日照时数等气象因子的关系式, 如下所述。

1. 返青到分枝阶段

返青至分枝天数 (Y) 与日平均温度 (T) 呈极显著负相关, 说明温度升高对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。其关系式为

$$Y = -8.72T + 115.44 \quad n = 7 \quad R = 0.9355^{**} \quad R^2 = 0.8752$$

返青至分枝天数 (Y) 与 $\geq 5^{\circ}\text{C}$ 积温 ($\sum T$) 呈极显著正相关, 其关系式为

$$\sum T = 5.68Y + 107.02 \quad n = 7 \quad R = 0.9727^{**} \quad R^2 = 0.9461$$

根据有效积温理论, Y 的系数为返青至分枝阶段的下限温度, 可近似取为 $T = (5.68 \pm 0.61)^{\circ}\text{C}$ 。即返青后 Y 天日平均气温高于 $(5.68 \pm 0.61)^{\circ}\text{C}$ 的有效积温达 $(107.02 \pm 19.22)^{\circ}\text{C}$ 时, 才普遍分枝。

苜蓿返青至分枝天数 (Y) 与 $\geq 5^{\circ}\text{C}$ 积温 ($\sum T$)、累积降水量 ($\sum R$) 和累积日照时数 ($\sum S$) 呈极显著正相关, 其回归和逐步回归关系式为

$$Y = 0.050 + 0.018\sum T + 0.222\sum R + 0.115\sum S$$

$$n = 7 \quad R = 0.9985^{**} \quad F = 334.93^{**}$$

$$Y = 2.77 + 0.218\sum R + 0.133\sum S$$

$$n = 7 \quad R = 0.9982^{**} \quad F = 575.36^{**}$$

2. 分枝到现蕾阶段

分枝至现蕾天数 (Y) 与日平均温度 (T) 呈不显著负相关, 与 $\geq 5^{\circ}\text{C}$ 积温 ($\sum T$) 呈极显著正相关, 其关系式为

$$\sum T = 13.95Y + 56.64 \quad n = 7 \quad R = 0.9613^{**} \quad R^2 = 0.9241$$

现蕾的气温下限为 $(13.95 \pm 1.78)^{\circ}\text{C}$ 。即当气温 $\geq (13.95 \pm 1.78)^{\circ}\text{C}$ 时, 苜蓿才进行现蕾发育, 当 Y 天后高于 $(13.95 \pm 1.78)^{\circ}\text{C}$ 的有效积温累计达 $(56.64 \pm 47.29)^{\circ}\text{C}$ 时, 普遍现蕾。

苜蓿分枝至现蕾天数 (Y) 与 $\geq 5^{\circ}\text{C}$ 积温 ($\sum T$) 呈极显著正相关, 与累积降水量