

蒙古栎展叶盛期变化的光谱特征及其影响因素研究

张世雅¹, 吕晓敏^{2, 3*}, 周广胜^{2, 3, 4*}, 任鸿瑞¹

1. 太原理工大学测绘科学与技术系, 山西 太原 030024
2. 中国气象科学研究院固城生态与农业气象试验站, 北京 100081
3. 中国气象科学研究院郑州大学生态气象联合实验室, 河南 郑州 450001
4. 南京信息工程大学气象灾害预报预警与评估协同创新中心, 江苏 南京 210044

摘要 植物生长状况是反映环境变化的重要指标, 在全球环境变化格局下, 研究多环境因子及交互作用对植物的影响尤为重要。为探究植物光谱特征响应环境变化, 从而探究环境变化对植物生长状况的影响, 同时实现遥感对植物的监测, 该研究以东北地区优势树种蒙古栎为研究对象, 分析研究了不同光周期、温度和氮沉降交互作用引起的蒙古栎展叶盛期冠层光谱反射特征变化。基于大型人工气候室模拟试验, 设置3个温度, 3个光周期和2个氮沉降交互处理, 每个处理4个重复。当蒙古栎进入展叶盛期时, 每个处理选择差异较小的三个重复, 使用FieldSpec Pro FR 2500型背挂式野外高光谱辐射仪测量光谱反射率。对不同处理的蒙古栎冠层光谱反射率进行分析, 选取NDVI(归一化植被指数)、Chl NDI(归一化叶绿素指数)和PRI(光化学反射指数)3个常用的光谱指数作为辅助分析, 同时计算一阶导数光谱以得到红边斜率、红边位置、红边面积等参数。不同处理展叶盛期的蒙古栎光谱反射率趋势大体一致, 均符合植物特有的光谱反射特征, 在350~680 nm范围内有一个小的波峰, 680~750 nm反射率显著上升, 750 nm后进入反射平台。结果表明: (1)光周期对于蒙古栎冠层的光谱反射率没有明显的影响; (2)增温会减小蒙古栎冠层在350~750 nm波段处的光谱反射率; (3)施氮会导致蒙古栎展叶盛期350~750 nm波段和750~1100 nm波段处的光谱反射率降低; (4)增温和施氮的交互作用会显著减小蒙古栎的光谱反射率; (5)通过一阶导数光谱可清晰地指示植物的红边特征。研究结果可为物候变化的监测与影响因素分析提供理论依据。

关键词 蒙古栎; 温度变化; 氮素; 光周期; 光谱反射率

中图分类号: S127 **文献标识码:** A **DOI:** 10.3964/j.issn.1000-0593(2021)09-2924-06

引言

全球气温变暖已经成为不争的事实, 大气氮沉降也是全球变化重大问题之一。温度、光照和氮作为植被生长过程中的必需条件, 无疑会对植被生长产生巨大的影响。因此, 研究多环境因子交互作用对植物的影响尤为重要。

植被有独特的光谱反射特征, 区别于土壤、水体和典型地物, 是由其化学特征和形态学特征共同决定的, 与植被的空间结构、覆盖度、生物量等密切相关, 能够反映植被的发育、健康状况以及生长条件。通过植被的光谱反射率可以分析植被关键物候期的叶绿素含量和长势情况。研究表明, 高

光谱技术可用于提取作物生态物理参数, 能够准确、方便地获取叶绿素含量等农学信息^[1-2]; 同一植被冠层光谱反射受植被叶绿素含量及长势影响明显^[3]。

蒙古栎(*Quercus mongolica*)是壳斗科栎属落叶乔木, 主要分布在中国东北、华北、西北各地, 是中国东北林区中主要的次生林树种, 对森林群落的演替和发展具有重要意义^[4]。随着全球气候变暖, 蒙古栎具有成为东北森林最主要树种的趋势^[5], 而东北原始阔叶红松林是温带地带性顶级植被, 对全球变化的研究具有显著的区域特性^[4]。研究表明, 适度的增温有利于蒙古栎幼苗的生长, 增温4℃对幼苗生长的促进作用最大^[6]; 叶绿素含量受氮素水平影响显著, 高氮素水平下的叶绿素含量明显高于正常氮素水平和不施氮^[7]。

收稿日期: 2020-08-28, 修订日期: 2020-12-07

基金项目: 国家重点研发计划项目(2018YFA0606103), 国家自然科学基金项目(41705093)和中国气象科学研究院基本科研业务费专项经费(2020Z004)资助

作者简介: 张世雅, 女, 1995年生, 太原理工大学测绘科学与技术系硕士研究生 e-mail: zhangsy@126.com

* 通讯作者 e-mail: zhougs@cma.gov.cn

尽管关于温度和氮素变化对蒙古栎的影响研究已经很多,然而温度、光照和氮添加交互作用对蒙古栎关键物候期的影响仍未见报道,尤其是基于光谱特征的蒙古栎主要物候期生长变化的研究。研究采用大型人工气候室模拟控制实验的方法,分析蒙古栎展叶盛期冠层光谱反射率对不同光照、增温、氮添加及其交互作用的响应差异,旨在为植被变化的遥感监测与影响因素分析提供依据。

1 实验部分

1.1 试验设计

试验地点位于中国气象局固城生态与农业气象试验站,蒙古栎幼苗物候模拟试验为4~10月。模拟试验设置3个温度、3个光周期和2个氮沉降的交互处理,共18个处理,每个处理4个重复。其中,(1)3个温度处理:对照温度(T1, 黑龙江省齐齐哈尔市拜泉县蒙古栎幼苗生长季相应月份近30年的平均气温)、增温1.5℃(T2)和增温2.0℃(T3);(2)3个光周期处理:长光周期处理(L1, 光照长度18 h)、对照光周期(L2, 拜泉县蒙古栎生长季的平均光照长度14 h)、短光周期处理(L3, 光照长度10 h);(3)2个氮沉降处理:尿素施用量+0.0% (N1, 0 g N·m⁻²·a⁻¹)、尿素施用量+100.0% (N3, 10 g N·m⁻²·a⁻¹)。

1.2 光谱测定

利用FieldSpec Pro FR 2500型背挂式野外高光谱辐射仪(美国ASD公司生产)测定蒙古栎展叶盛期光谱。每个处理每次测定5条曲线,3次重复,测定两次,共计30条曲线。该处理的冠层光谱反射值是30次测量的平均值。

1.3 数据分析

利用ViewSpecPro进行数据转换,将原始asd格式转换为Excel可用的txt格式后利用Excel 2016进行数据处理。

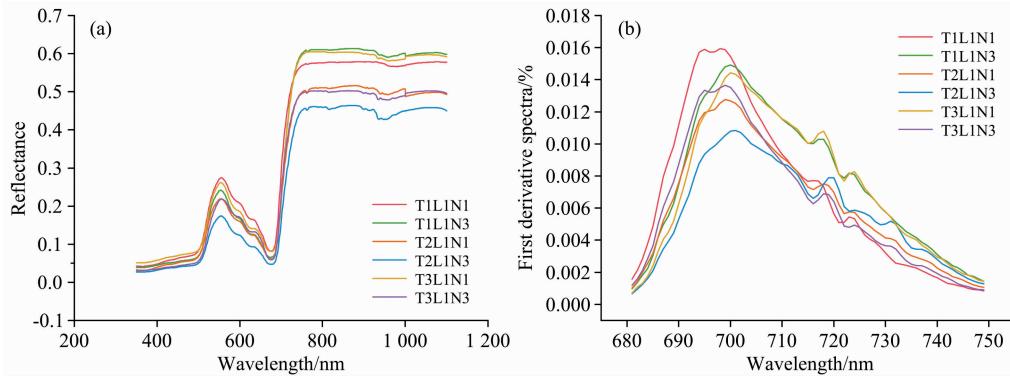


图1 长光周期处理下蒙古栎冠层光谱反射率(a)和一阶导数光谱(b)对比

Fig. 1 Comparisons of spectral reflectance (a) and first derivative spectra (b) of *Quercus mongolica* canopy under long photoperiod treatments

T1处理下,N3的光谱反射率在可见光范围内更低,而在近红外波段更高,说明N3处理叶绿素含量高且长势好;T2处理下,施氮处理的光谱反射率在整个波段范围内都更低,表明N3叶绿素含量高但长势差;T3处理的结果与T2处理完全相同,光谱指数也与反射率结果一致。而一阶导数

植被的光谱反射曲线大于1100 nm范围主要是水的强吸收带,故截取350~1100 nm波段范围内的反射曲线进行处理分析。同时,引入光谱反射曲线的一阶导数曲线^[8]

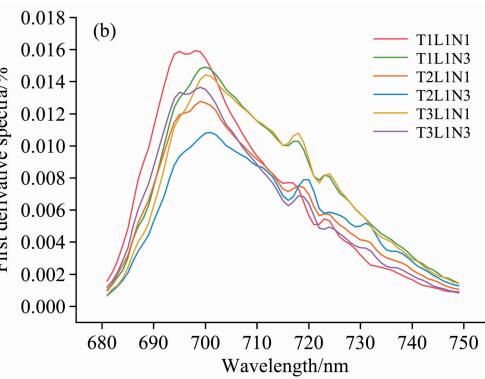
$$\rho'(\lambda_i) = \frac{[\rho(\lambda_{i+1}) - \rho(\lambda_{i-1})]}{(\lambda_{i+1} - \lambda_{i-1})} \quad (1)$$

式(1)中,λ_i为波段*i*波长值;ρ(λ_i)为波长λ_i的光谱反射率值;ρ'(λ_i)为波段*i*的一阶微分值。再从一阶导数曲线中提取红边参数,其中常用的红边参数有:(1)红边斜率:680~750 nm波段内一阶导数光谱的最大值;(2)红边位置:680~750 nm波段范围内一阶导数光谱最大值对应的波长;(3)红边面积:680~750 nm之间的一阶导数光谱所包围的面积^[9]。选取3个常用的光谱指数NDVI(归一化植被指数)、Chl NDI(归一化叶绿素指数)和PRI(光化学反射指数)作辅助分析^[10]。

2 结果与讨论

2.1 长光周期下温度和氮沉降及其交互作用的影响

不施氮(N1)处理中,在可见光波段,对照温度(T1)、增温2℃(T3)波谷处的光谱反射率较为接近,增温1.5℃(T2)最低[图1(a)],说明T2叶绿素含量高于T1和T3;而T1的一阶导数光谱峰值最大[图1(b)]且红边斜率最大(表1),说明其覆盖度最大,但红边位置波长最小,同样表明叶绿素含量最低。T3在近红外波段反射率最高,T2最低,同时,T2红边斜率和面积均最小,T3则红边面积最大,就长势来说,T3优于T1,优于T2。施氮处理(N3)可见光波段的规律与不施氮保持一致,T2叶绿素含量最低,其NDVI、Chl NDI值也最大;而在近红外波段,T2光谱反射率同样为最低,但T1要高于T3。从一阶导数光谱来看,T2叶绿素含量最低,然而T1长势最好。



光谱没有表现出统一规律。

T2L1N3处理的光谱反射率最低,说明长光周期下,增温1.5℃施氮处理的叶绿素含量最高但长势最差。T1L1N1处理叶绿素含量最低,而T1L1N3处理长势最好,说明长光周期下,对照温度(T1)最有利于蒙古栎生长。

表 1 长光周期处理下蒙古栎冠层光谱指数和红边参数
Table 1 Canopy spectral indexes and red edge parameters of *Quercus mongolica* under long photoperiod treatments

处理	NDVI	ChlNDI	PRI	红边斜率	红边位置	红边面积
T1L1N1	0.747	0.229	-0.067	0.016	698	0.484
T1L1N3	0.803	0.340	-0.040	0.015	700	0.533
T2L1N1	0.781	0.297	-0.044	0.013	699	0.436
T2L1N3	0.811	0.361	-0.057	0.011	701	0.403
T3L1N1	0.760	0.343	-0.052	0.014	700	0.513
T3L1N3	0.787	0.266	-0.107	0.014	699	0.435

注: T1: 对照温度处理; T2: 增温 1.5 ℃ 处理; T3: 增温 2.0 ℃;
 L1: 长光周期处理; N1: 尿素施用量 +0.0%; N3: 尿素施用量
 +100.0%

Note: T1: Controlled temperature treatment; T2: Increasing temperature by 1.5 ℃; T3: Increasing temperature by 2.0 ℃; L1: Long photoperiod treatment; N1: Nitrogen application +0.0%; N3: Nitrogen application +100.0%

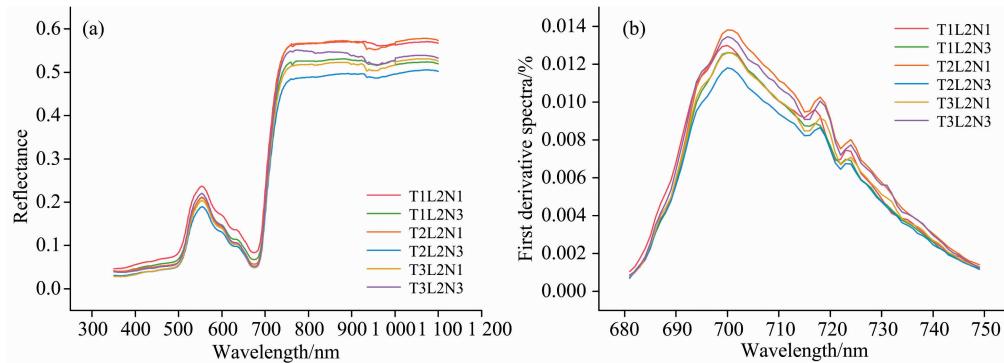


图 2 对照光周期处理下蒙古栎冠层光谱反射率(a)和一阶导数光谱(b)对比

Fig. 2 Comparisons of spectral reflectance and (a) first derivative spectra (b) of *Quercus mongolica* canopy under controlled photoperiod treatments

表 2 对照光周期处理下蒙古栎冠层光谱指数和红边参数
Table 2 Canopy spectral indexes and red edge parameters of *Quercus mongolica* under controlled photoperiod treatments

处理	NDVI	ChlNDI	PRI	红边斜率	红边位置	红边面积
T1L2N1	0.738	0.316	-0.023	0.013	700	0.470
T1L2N3	0.769	0.336	-0.038	0.013	700	0.448
T2L2N1	0.814	0.364	-0.042	0.014	700	0.497
T2L2N3	0.813	0.354	-0.046	0.012	700	0.426
T3L2N1	0.823	0.357	-0.047	0.013	700	0.456
T3L2N3	0.826	0.360	-0.028	0.013	700	0.490

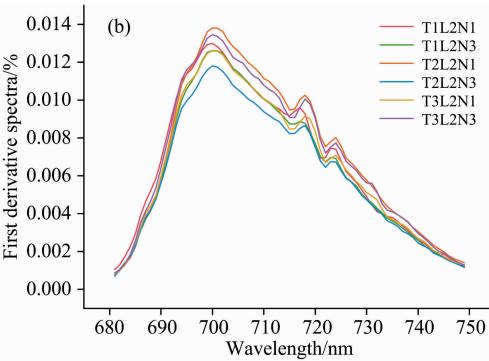
注: T1: 对照温度处理; T2: 增温 1.5 ℃ 处理; T3: 增温 2.0 ℃;
 L2: 对照光周期处理; N1: 尿素施用量 +0.0%; N3: 尿素施用量
 +100.0%

Note: T1: Controlled temperature treatment; T2: Increasing temperature by 1.5 ℃; T3: Increasing temperature by 2.0 ℃; L2: Controlled photoperiod treatment; N1: Nitrogen application +0.0%; N3: Nitrogen application +100.0%

2.2 对照光周期下温度和氮沉降及其交互作用的影响

不施氮(N1)处理中, 在可见光波段, 增温 1.5 ℃ 处理(T2)、增温 2.0 ℃ 处理(T3)下蒙古栎展叶盛期的光谱反射率比较接近, 对照温度(T1)的光谱反射率明显高于 T2 和 T3 [图 2(a)], 说明 T2 和 T3 的叶绿素含量无明显差异且高于 T1。近红外波段, T3 反射率最低, 因此长势最差, T1 和 T2 没有明显差异。T2 一阶导数光谱有最大峰值[图 2(b)]及最大的红边斜率和红边面积(表 2), 表明该处理长势最好, 而 T3 略差。施氮处理(N3)中, 不同温度处理下可见光波段的光谱反射率与 N1 处理保持一致, NDVI 和 Chl NDI 的值也表现为 T1 最低, 但 T3 要略高于 T2; 而从近红外波段的反射率来看, T3 长势最好, T2 最差, 与 PRI 及一阶导数光谱的结果一致。

在 T1 处理下, N3 下蒙古栎展叶盛期在可见光范围内的反射率更低, NDVI 和 Chl NDI 值更大, 说明 N3 蒙古栎的叶绿素含量高于 N1; T2 下, N3 反射率略低于 N1, 说明 N3 叶绿素含量略高, 然而 NDVI 和 Chl NDI 的却表现出相反结果, 不过差异很小; T3 下, N3 和 N1 反射率看不出明显差



异, NDVI 和 Chl NDI 值均只有 0.003 左右的差距。在 T2 条件下, N1 和 N3 差异最大, N1 红边斜率和红边面积都大于 N3, 说明 N1 长势较好; T1 结论与 T2 一致, T3 则相反。

T1L2N1 处理在可见光波段光谱反射率最高, NDVI 和 Chl NDI 值最低, 说明在对照光周期下对照温度不施氮处理的叶绿素含量最低; T2L2N1, T3L2N1 和 T3L2N3 三个处理可见光波段的光谱反射率较为接近, 也有着较大的 NDVI 和 Chl NDI 值, 说明 T2N1 处理及 T3 处理的叶绿素含量高。同时, T2N1 处理长势最佳, 而 T2N3 处理长势最差。

2.3 短光周期下温度和氮沉降及其交互作用的影响

不施氮(N1)处理下, 可见光波段的波谷处, 增温 1.5 ℃ (T2) 处理的反射率最小, 增温 2.0 ℃ (T3) 其次, 对照温度(T1)最大[图 3(a)], 叶绿素含量 $T2 > T3 > T1$, NDVI 值也印证了这一点(表 3); 在近红外波段, T2 反射率最高, 说明 T2 长势最好, T1 和 T3 长势无明显差异。在施氮(N3)处理下, 可见光波段的波谷处, T2 和 T3 处理的反射率比较接近, T1 处理最高, 即 T2 和 T3 叶绿素含量差异不大, T1 处

理叶绿素含量最低, NDVI值也表现为T1处理最小,但T3处理要大于T2处理;在750~1 100 nm范围内,T3处理光谱反射率最高,T2处理最低,且T2处理一阶导数光谱峰值

最小[图3(b)]且红边参数最小,T3处理则峰值最大且红边参数最大,即T3处理长势最好,T2处理最差,但是长势差异不大。

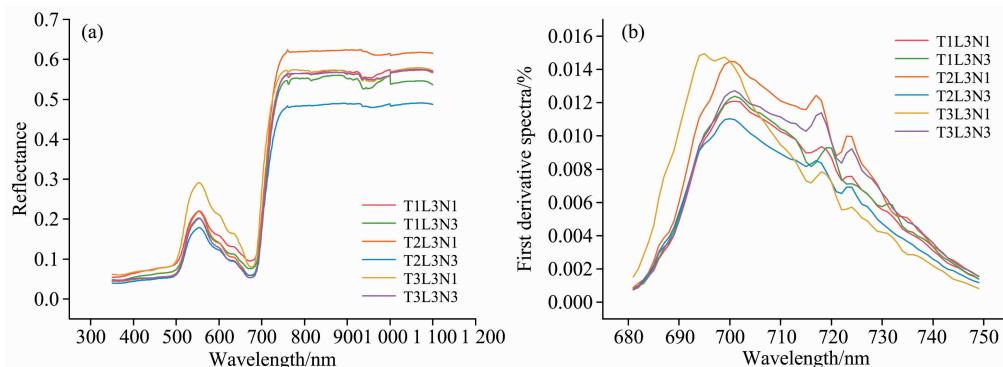


图3 短光周期处理下蒙古栎冠层光谱反射率(a)和一阶导数光谱对比(b)

Fig. 3 Comparisons of spectral reflectance (a) and first derivative spectra (b) of *Quercus mongolica* canopy under short photoperiod treatments

表3 短光周期处理下蒙古栎冠层光谱指数和红边参数

Table 3 Canopy spectral indexes of *Quercus mongolica* and red edge parameters under short photoperiod treatments

处理	NDVI	ChlNDI	PRI	红边斜率	红边位置	红边面积
T1L3N1	0.705	0.342	-0.016	0.012	701	0.456
T1L3N3	0.754	0.358	-0.020	0.012	701	0.463
T2L3N1	0.822	0.385	-0.015	0.014	700	0.547
T2L3N3	0.781	0.350	-0.015	0.011	700	0.414
T3L3N1	0.753	0.255	-0.019	0.015	695	0.487
T3L3N3	0.825	0.404	-0.003	0.013	701	0.500

注:T1:对照温度处理;T2:增温1.5 ℃处理;T3:增温2.0 ℃;L3:短光周期处理;N1:尿素施用量+0.0%;N3:尿素施用量+100.0%

Note: T1: Controlled temperature treatment; T2: Increasing temperature by 1.5 ℃; T3: Increasing temperature by 2.0 ℃; L3: Short photoperiod treatment; N1: Nitrogen application + 0.0%; N3: Nitrogen application +100.0%

在T1及T3处理下,N3在可见光范围内的反射率更低,说明N3的叶绿素含量高于N1,NDVI和ChlNDI也表现出同样的结果;T2条件下,N3反射率与N1接近,然而N1的NDVI和ChlNDI值要大于N3。就长势来看,T1处理下长势无统一结论,而T2和T3处理下N1长势略好。一阶导数光谱则表现为T1和T3处理下N3长势略优于N1,T2处理则相反。

T1L3N1在可见光波段内的波谷处有最高的光谱反射率,且NDVI值最小,因此其叶绿素含量最低,即短光周期下对照温度不施氮会抑制蒙古栎合成叶绿素;T3L3N3光谱反射率在可见光波段内最低,而在红外波段和大多数处理较为接近,说明,短光周期下增温2 ℃且施氮肥最有利于蒙古栎合成叶绿素,但对于长势没有促进。T2L3N3处理长势最差,T2L3N1处理长势最好,与对照光周期结论一致。

文中通过光谱反射率对比蒙古栎展叶盛期的叶绿素含量和长势,以分析不同控制条件对蒙古栎生长发育的影响。

不同光周期处理在350~680 nm波段内的光谱反射率没有体现出明显差异,表明光周期对蒙古栎叶绿素的合成没有显著的影响;而在750~1 100 nm波段的反射率差异规律不一致,说明光周期对蒙古栎长势也没有明显影响。

温度对比中,相同光周期和施氮量处理下,不同温度处理的光谱反射率在350~1 100 nm范围内,T1处理反射率最高,叶绿素含量最低,说明增温(相对于拜泉县温度)有利于蒙古栎合成叶绿素,但是温度过高也有可能会造成一定的抑制。由于实验设置的温度梯度差异不大,因此合适的增温温度无法确定。在750~1 100 nm波段,不同温度处理的反射率差异规律不一致,可能是由于温度没有超过植物耐受力,并未对植物细胞造成损伤,因此各个处理长势上没有明显的优劣之分。

施氮对比中,N3处理可见光波段的光谱反射率更低,叶绿素含量更高,由此说明缺氮会抑制叶绿素的合成;而N1处理长势更好,说明缺氮并不会影响植物长势,甚至施100%氮会导致植物生长变弱。在750~1 100 nm波段,N1对近红外线反射更强,说明N1处理后生物量、叶面积指数更大;但差值之间还存在差异,最小只有0.34%,而最大达到13.21%,这是不同处理的温度和光周期不同导致的;大部分处理红边斜率和红边面积的对比结果一致,均是N1处理较大,由此可知不施氮的植物反而长势更好,光谱反射率更不容易受土壤背景影响。

温度和氮沉降的交互作用在对照光周期和短光周期下表现出一致规律,即升温2 ℃且施氮的光谱反射率在可见光波段最低,升温1.5 ℃且施氮的一阶导数光谱值和红边参数最小,说明升温且施氮会促进蒙古栎叶绿素的合成,同时抑制其长势。这一结论与单因子作用的结论统一。

联合国气候会议宣布巴黎公约的目标是在本世纪末将全球气候变暖限制在2 ℃以内,据研究,实验结果符合升温

2 °C 的限制。在 2 °C 的限制内, 蒙古栎不会出现生长抑制, 并能更好地生成叶绿素。由于我国是全球三大氮沉降集中区之一, 培育蒙古栎幼苗的土壤中可能本身有一定氮含量, 因此本实验中不施氮处理也并非完全不含氮, 而施 100% 氮可能导致土壤氮含量过高, 这也符合大气氮沉降的增加的全球环境。

3 结 论

研究以大型人工气候室模拟实验资料, 采取高光谱遥感的方法, 分析研究了增温、光周期、氮沉降及其协同作用对蒙古栎展叶盛期光谱反射率及一阶导数光谱影响的差异, 比较了不同环境变化下蒙古栎展叶盛期的叶绿素含量和长势变

化。主要结论: (1) 光周期对蒙古栎冠层光谱反射率没有明显影响, 即不同光周期不会导致蒙古栎叶绿素含量和长势的差异; (2) 增温会减小蒙古栎在可见光波段的光谱反射率, 意味着增温有利于蒙古栎合成叶绿素; (3) 施氮处理的光谱反射率在可见光波段要低于不施氮处理, 而近红外波段正好相反, 表明施氮也有利于蒙古栎合成叶绿素, 但是会抑制蒙古栎的生长, 不施氮处理的蒙古栎长势更优; (4) 两个光周期下, 增温 2 °C 且施氮处理的蒙古栎叶绿素含量最高, 增温 1.5 °C 且施氮处理的蒙古栎长势最差, 说明增温且施氮的交互作用对蒙古栎合成叶绿素有促进作用, 但会导致蒙古栎长势变差; (5) 通过一阶导数光谱能够更清晰地看出植物的红边特征, 有助于比较植物长势。

References

- [1] Ren Hongrui, Zhou Guangsheng, Zhang Feng. Remote Sensing of Environment, 2018, 209: 439.
- [2] Ren Hongrui, Zhou Guang-sheng, Agricultural and Forest Meteorology, 2012, 161: 66.
- [3] Ren Hongrui, Zhou Guangsheng, Zhang Xinshi. Biosystems Engineering, 2011, 109: 385.
- [4] CHENG Xu-bing, WU Jun, HAN Shi-jie, et al(程徐冰, 吴军, 韩士杰, 等). Chinese Journal of Ecology(生态学杂志), 2011, 30(9): 1908.
- [5] YAN Xiao-dong, ZHAO Shi-dong, YU Zhen-liang(延晓冬, 赵士洞, 于振良). Chinese Journal of Plant Ecology(植物生态学报), 2000, 24(1): 1.
- [6] ZHAO Juan, SONG Yuan, MAO Zi-jun(赵娟, 宋媛, 毛子军). Journal of Beijing Forestry University(北京林业大学学报), 2013, 35(1): 64.
- [7] ZHAO Meng, WANG Xiu-wei, MAO Zi-jun(赵甍, 王秀伟, 毛子军). Bulletin of Botanical Research(植物研究), 2006, 26(3): 337.
- [8] CHEN Bing, HAN Huan-yong, WANG Fang-yong, et al(陈兵, 韩焕勇, 王方永, 等). Acta Agronomica Sinica(作物学报), 2013, 39(2): 319.
- [9] ZHU Yong-li, LI Ping-ping, MAO Han-ping, et al(朱咏莉, 李萍萍, 毛罕平, 等). Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery(农业机械学报), 2011, 42(11): 174.
- [10] LIU Wei-guo, FAN Xiu-hua(刘伟国, 范秀华). Acta Ecologica Sinica(生态学报), 2009, 29(9): 4720.

Spectral Characteristics During Leaf Flourishing Development of *Quercus Mongolica* and Its Influencing Factors

ZHANG Shi-ya¹, LÜ Xiao-min^{2, 3*}, ZHOU Guang-sheng^{2, 3, 4*}, REN Hong-rui¹

1. Department of Surveying and Mapping, Taiyuan University of Technology, Taiyuan 030024, China

2. Gucheng Experimental Station of Ecological and Agricultural Meteorology, Chinese Academy of Meteorological Sciences, Beijing 100081, China

3. Joint Eco-Meteorology Laboratory of Chinese Academy of Meteorological Sciences and Zhengzhou University, Zhengzhou 450001, China

4. Collaborative Innovation Center on Forecast and Evaluation of Meteorological Disasters, Nanjing University of Information Science and Technology, Nanjing 210044, China

Abstract Plant growth is an important indicator of environmental changes. Under the global environmental change pattern, it is particularly important to study the impact of multiple environmental factors and interactions on plants. In order to explore the spectral characteristics of plants in response to environmental changes, to explore the impact of environmental changes on plant growth, and to realize remote sensing monitoring of plants, this study took the dominant species of *Quercus mongolica* in Northeast China as the research object, and analyzed and studied different photoperiods, temperature and Changes in spectral reflectance characteristics of the canopy of *Quercus mongolica* during its leaf development period caused by the interaction of nitrogen deposition. Plant growth is an important indicator reflecting environmental changes. In order to realize the monitoring of plants by remote sensing, this study took *Quercus mongolica*, the dominant tree species of Northeast China, as the research object, and used a simulation test to analyze the influence on the canopy spectral reflectance of *Quercus mongolica* in 50% leaves the unfolded stage. The simulation test was carried out in a large-scale artificial climate room and was set up with 3 temperature, 3 photoperiods and 2 nitrogen deposition interactive treatments. There were 18 treatments with 4 replicates in each treatment. When *Quercus mongolica* entered 50% leaves unfolded stage, three repetitions with small differences in each treatment measured spectral reflectance, and used the FieldSpec Pro FR 2500 back-mounted field hyperspectral radiometer to measure the spectral reflectance. Analyzed the spectral reflectance of the canopy of *Quercus mongolica* with different treatments, and selected NDVI (Normalized Vegetation Index), Chl NDI (Normalized Chlorophyll Index) and PRI (Photochemical Reflectance Index) three commonly used spectral indices as auxiliary analysis. At the same time, to calculated the first derivative spectrum to obtain the red edge parameters. The spectral reflectance trends of *Quercus mongolica* in 50% leaves unfolded stage of different treatments are roughly the same, which are in line with the unique spectral reflectance characteristics of plants. There is a small peak in the range of 350~680 nm, the reflectance of 680~750 nm rises rapidly, and the reflection platform enters after 750 nm. The results show that: (1) Photoperiod had no obvious effect on the spectral reflectance of *Quercus mongolica* canopy; (2) Increasing temperature reduced the spectral reflectance of *Quercus mongolica* canopy at 350~750 nm; (3) Nitrogen application reduced the spectral reflectance of *Quercus mongolica* canopy at 350~750 and 750~1100 nm; (4) The interaction of temperature increase and nitrogen application significantly reduced the spectral reflectance of *Quercus mongolica* canopy; (5) And the first derivative spectrum can indicate the red edge characteristics of plants. The results can provide a theoretical basis for monitoring phenological changes and the analysis of influencing factors.

Keywords *Quercus mongolica*; Temperature change; Nitrogen; Photoperiod; Spectral reflectance

(Received Aug. 28, 2020; accepted Dec. 27, 2020)

* Corresponding authors